OSWALD THOMAS

ASTRONOMIE

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/astronomietatsac00thom

OSWALD THOMAS / ASTRONOMIE

D
BB
VERLAG »DAS BERGLAND-BUCH«

Großer Orionnebel (Yerkessternwarte)

TAFEL I

Astron
T

ASTRONOMIE

TATSACHEN UND PROBLEME

VON

OSWALD THOMAS

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

Mit 275 Originalzeichnungen und
38 Tiefdruckbildern auf 31 Tafeln

31593 7/35
.5
20

IM VERLAG »DAS BERGLAND-BUCH«
Deutsche Vereins-Druckerei A.G. Graz · Wien · Leipzig · Berlin

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten
Copyright 1934 by Verlag »Das Bergland-Buch«
Deutsche Vereins-Druckerei A. G. Graz - Wien - Leipzig - Berlin
Schutzumschlag- und Einbandentwurf von Max Fleischhaker
Tiefdrucktafeln: Wagnersche Universitäts-Buchdruckerei Innsbruck
Gedruckt und gebunden in der Deutschen Vereins-Druckerei A. G. Graz

Printed in Germany

INHALT

Seite

Vorwort 7

ERSTER TEIL

Astronomie der Himmelskugel

1. Ruhender Himmel 15
2. Sonnenbahn am ruhenden Himmel 31
3. Rotierender Himmel 43
4. Sonnenbahn am rotierenden Himmel 62
5. Himmelsdarstellungen 73
6. Sternbilder 80
7. Präzession der Sterne 93
8. Planetenlauf 103
9. Mondlauf 111
10. Himmelstafeln 123

ZWEITER TEIL

Astronomie des Erdballs

1. Erdkugel 145
2. Erde und Himmel 158
3. Erde und Sonne 168
4. Erde und Ekliptik 174
5. Erdbahn 187
6. Erdgestalt 200
7. Gravitation 206
8. Präzession der Erde 218
9. Erdkörper 224
10. Erdtafeln 240

DRITTER TEIL

Astronomie des Sonnensystems

Seite

1. Planetensystem 249
2. Helle Planeten 268
3. Sonne und Strahlung 284
4. Mondbahn 310
5. Mondkugel 326
6. Finsternisse 339
7. Kometen 352
8. Meteore 366
9. Dreikörperproblem und Störungen 383
10. Planetentafeln 401

VIERTER TEIL

Astronomie des Sternenalls

1. Sterne an der Himmelskugel 415
2. Entfernungen und Leuchtkräfte 430
3. Sternbewegungen 447
4. Veränderliche und Doppelsterne 462
5. Sternphysik 478
6. Sternhaufen und galaktische Nebel 498
7. Galaktisches System 511
8. Spiralnebel 520
9. Allgemeine Probleme 534
10. Weltentafeln 554

Tafel der Symbole 570
Verzeichnis der Bildtafeln 572
Schlagwortregister 575

VORWORT

Das ist die klarste Kritik der Welt,
Wenn neben das, was ihm mißfällt,
Einer was Eigenes, Besseres stellt.
(Geibel)

Das neue Buch möchte ich mit meiner astronomischen Bücherei vergleichen. Man findet in dieser begreiflicherweise vieles nicht, was andere, große Bibliotheken enthalten — aber wenn ich irgend eine von ihnen in Muße besichtige, stellt es sich doch immer heraus, daß es manches in meiner eigenen Sammlung gibt, was andere nicht besitzen. So ist auch in diesem Buch zunächst die Geschichte der Himmelskunde grundsätzlich ausgeschaltet, mit ihr auch jede biographische und bibliographische Bemerkung. Ebenso ist auch alles, was mit Beobachtungs- und Umrechnungspraxis, mit Beobachtungstechnik, mit Instrumenten- und Gerätekunde zusammenhängt, nicht behandelt. Dadurch ist viel Raum für das eigentliche Thema unseres Werkes — die Tatsachen und die Probleme der Astronomie — gewonnen, und es ist vielleicht in der Art, wie wir unserem Ziel zustreben, manch neue gute Absicht zu erkennen: Das Buch will in das Verstehen der astronomischen Begriffe und Wirklichkeiten einführen, es will mit den Methoden und Ideen der Astronomie bekannt machen, die sich um die mannigfaltigen Probleme unserer weitausblickenden Wissenschaft gruppieren, und so eine Anleitung geben zum geistigen Erfassen des gesamten Weltenbaues. — Es soll sich der Leser in Gedanken stets unter freiem Himmel wähnen und so ohne irgend welche materielle Gebundenheit, wie sie jede Apparatur mit sich bringen muß, zum kosmischen als dem ureigentlichen Gegenstand der Astronomie gebracht werden.

Die ständige Frage bei Erscheinen eines Himmelsbuches, ob es „wissenschaftlich oder populär" sei, kann ebensowenig beantwortet werden, wie die Frage, ob ein Apfel Kerne habe oder ob er süß sei. Eine gleichzeitige Einteilung nach zwei ganz verschiedenen Gesichtspunkten widerspricht allen guten Denkregeln. Das Buch ist von einem

Astronomen geschaffen, also durchaus mit wissenschaftlichem Verantwortungsgefühl verfaßt. Es ist gleichzeitig von einem Volksbildner so recht vom Herzen weg geschrieben und — gezeichnet, der sich ein Vierteljahrhundert der mühsamen Kunst des Darstellens und öffentlichen Vermittelns himmelskundlicher Gegenstände befleißigt hat.

Auf die gerechtfertigte Frage, für wen das Buch da sei, kann erwidert werden: für alle, die sich für Astronomie interessieren und es der Mühe wert finden, es einmal, wenn auch nur aus Neugierde, durchzublättern. — Den Anfänger hoffe ich, wenn er etwas Energie besitzt, besonders wenn er schon am Sternenhimmel bewandert ist, schrittweise so weit zu bringen, daß er am Verstehen der vielerlei Tatsachen und Probleme einer Weltallkunde wirkliche Freude empfindet. Er wird, auch dann, wenn er gewisse ihm unbequem erscheinende Kapitel überschlägt, auch an Hand der vielen Zeichnungen zu brauchbaren Denkübungen veranlaßt werden. Dem schon eingeweihten Himmelsfreund hinwieder soll das Buch in seiner Art Darbietungen anderer Werke ergänzen. Der Fachmann endlich wird dann zu unserem Buche greifen, wenn er an weitere Kreise einiges aus seiner schönen Wissenschaft weitergeben will und daran interessiert ist, zu erfahren, wie andere dies anstellen.

Trotz der Weglassung geschichtlicher Angaben ist der Aufbau dieses Buches den Stufen angepaßt, die das vieltausendjährige Ringen nach astronomischer Erkenntnis durchzumachen hatte: Im ersten, sphärischen Teil ist der Himmel, auf dessen Definition absichtlich das größte Gewicht gelegt wird, eine Kugel wie in den ersten Anfängen menschlicher Kultur und wissenschaftlichen Staunens. Der Beobachter bleibt am selben Fleck der Scholle, die ohne weiteres flach sein darf, wie die Erdscheibe des ältesten Altertums — aber er erlebt eine ganze Astronomie seiner Himmelskugel. Erst im zweiten Teil wird die Erde kugelrund. Wohl zum erstenmal in der astronomischen Literatur erfolgt ein kontinuierlicher, nicht sprunghafter Übergang vom sogenannten Ptolemäischen Weltsystem zum Kopernikanischen durch rein gedankliche Ableitung aus dem Beobachtbaren. Die Relativität aller Bewegungen wird nicht nur betont, ihre rein praktisch zu wertende Idee durchzieht das ganze Werk. Der dritte Teil, der das Sonnensystem behandelt, ist zusammen mit einigen Kapiteln des zweiten Teiles vor allem den Errungenschaften seit Kepler, Galilei und Newton gewidmet. Rein beschreibende Erörterungen sind auf ein

Mindestmaß beschränkt. Der letzte Teil ist im wesentlichen moderner stellarer Astronomie gewidmet. —

In der astronomischen Belehrungskunst finden sich unter anderem zwei Paradoxa: Erstens ist eigentlich nur das sogenannte Leichte schwer zu behandeln, wie z. B. das, was sich um den engen Namen „astronomische Geographie" gruppiert. In den „höheren" Gebieten, wie z. B. in der Stellarastronomie, finden sich — von rein physikalischen Problemen abgesehen — relativ geringere Schwierigkeiten. Das zweite Merkwürdige besteht darin, daß wichtige Begriffe keinen Namen haben und manche verhältnismäßig einfache über eine ganze Liste von Benennungen verfügen, deren Nebeneinander für das Verständnis eines Gegenstandes kaum von Nutzen ist. — Die erste Schwierigkeit wollte dadurch behoben sein, daß ein weiterer Raum gewissen, oft stiefmütterlich behandelten Gegenständen, z. B. der Präzession, gewidmet erscheint. Die zweite Unbequemlichkeit mußte zum Teil durch Schaffung neuer Namen erledigt werden, wie: Kolurhimmel im Gegensatz zum ruhenden und zur Sternenkugel der Präzessionsbewegung, dann Äquatorkulm, absolute Himmelskugel, Evektionspunkt und Evektionskreis, Fallkreis, symbolische Projektion usw. Der Begriff Präzession wird in weiterem Umfang als sonst gebraucht. — Bei nicht ausdrücklich benanntem Standort sollen unsere Angaben etwa für die mittleren Teile Europas Gültigkeit haben. — Amerikanischen Lesern möge schließlich noch gesagt sein, daß im Gegensatz zur dortigen Benennungsweise unsere Billion 12, die Trillion 18, die Quadrillion 24 Nullen besitzt usw. —

Die mathematische Schreibweise ist vollkommen ausgeschaltet, doch sind nur wenige Themen, die sonst in elementarmathematischer Form erörtert werden, in unserem Buche beiseite gelassen. Der Eingeweihte wird merken, daß manches Problem nach trigonometrischen und logarithmischen Methoden behandelt wird, ohne daß es der den mathematischen Zeichen aus irgend einem verzeihlichen Grund abholde Leser merkt, was er über sich — wir wollen annehmen: zu seinem Vorteil — ergehen lassen muß. Daß bei Verzicht auf die Eleganz mathematischer Formelausdrücke die Umschreibung exakter Gesetze schwerfällig sein mußte, darf der mathematisch Geschulte uns nicht verübeln. Es soll genügen, wenn der nicht Geschulte die Überzeugung gewinnt, daß dieser und jener Zusammenhang wirklich besteht.

Ein großer und autonomer Bereich wurde Gedankenversuchen und Vergleichen eingeräumt. Allen Veranschaulichungen kosmischer Größenverhältnisse wurden die Normierungsvorschläge zu Grunde gelegt, die ich auf den Kongressen in Kopenhagen und Cambridge, Massachusetts, im Sinne einer Vereinheitlichung aller Verhältnismaßstäbe empfahl. — Im letzten Abschnitt unseres Buches, in den „Weltentafeln", sind diese Veranschaulichungen der astronomischen wie physikalischen Längen, Massen und Zeiten tabellarisch behandelt.

Die 275 Strichzeichnungen sind mit Ausnahme der mythologischen Sternbildumrisse und einer Tabelle vom Verfasser hergestellt und beschriftet. Sie wollen in ihrer schematischen Art an keinerlei Vorschrift gebunden sein. Die in ihnen enthaltenen astronomischen Zeichen sind in der „Tafel der Symbole" erklärt. Über die Art unserer Kugelabbildungen unterrichtet der Abschnitt „Himmelsdarstellungen". Grundsätzlich ist bei den Bildern Nord immer oben. Bei den großen photographischen Bildtafeln, die Seite 572 erläutert sind, mußte allerdings mitunter auf das durch die Aufnahme bedingte Format Rücksicht genommen werden. Bei den Sternbildern ist deren Richtung durch Vergleich mit der allgemeinen Sternkarte auf Seite 81 zu ermitteln. Sie bieten nur eine kleine Auswahl, insbesondere sollen die Umrißlinien zu den Sternbildern nur als Versuche angesehen werden. Es sind Proben zu dem in Vorbereitung befindlichen „Atlas der Sternbilder", den ich gemeinsam mit Herrn M. Fleischhaker vorbereite. Ein gewöhnlicher Sternatlas, wie z. B. der von Schurig-Götz, wird neben dem Buch die besten Dienste leisten.

Die Anzahl astronomischer Autoren, denen ich wissenschaftliche Förderung verdanke, geht in die Hunderte. — Von den älteren und den gegenwärtigen Autoren, denen ich außer bloß wissenschaftlicher auch über diese hinaus darstellerische Anregung verdanke, mögen folgende erwähnt sein: G. B. Airy, F. Arago, A. S. Eddington, J. Herschel, K. Hillebrand, J. H. Jeans, H. C. E. Martus, J. B. Messerschmidt, H. Mineur, A. F. Möbius, F. R. Moulton, G. Pontecoulant, H. N. Russell, W. Schmidt d. Ä., H. Shapley, W. de Sitter, E. Strömgren, D. P. Todd, C. A. Young.

Herzlichen Dank sage ich den Herren H. Kolbow, K. Wanka und E. Schuller für das Lesen der Fahnen. Insbesondere bin ich Herrn K. Wanka für wertvollste Beratung verpflichtet. Für die liebenswürdige Überlassung von photographischen Aufnahmen und Zeichnun-

gen als Vorlagen zu den großen Bildtafeln spreche ich folgenden Herren und Instituten meinen ergebensten Dank aus: W. S. Adams und A. H. Joy (Mount Wilsonsternwarte, Pasadena, Kalifornien), R. G. Aitken (Licksternwarte, Mount Hamilton, Kalifornien), L. B. Andrews (Harvardsternwarte Cambridge, Massachusetts), F. F. Bunker (Carnegiestiftung, Washington, D. C.), J. H. Jeans (Königliche Astronomische Gesellschaft, London), J. Klepešta (Bibliotheca Coeli Amicorum, Prag), H. Michel (Meteoritensammlung, Wien), M. Mündler (Sternwarte Heidelberg-Königsstuhl), J. Rheden (Staatssternwarte Wien), R. Schorr (Hamburger Sternwarte, Bergedorf), V. M. Slipher (Lowellsternwarte, Flagstaff, Arizona), O. Struve (Yerkessternwarte, Williamsbay, Wisconsin), Optische Werke C. Zeiß, Jena. —

Möge dieses Buch, für das Verlag und Verfasser ihr Bestes taten, freundliche Aufnahme finden.

Wien, 18. Oktober 1933. O. Thomas

ERSTER TEIL
Astronomie der Himmelskugel

ERSTER ABSCHNITT

RUHENDER HIMMEL

Himmelskugel / „Unendlich groß" und „unendlich klein" / Horizont / Himmelswagen / Polarstern und Pol / Meridian und Polhöhe / Ruhender Himmel / Ruhe und Bewegung / Himmelsäquator / Bogen- und Zeitmaß / Arcuszahl / Himmelsfläche / Grad und Zentimeter / Koordinaten / Sternhöhe / Azimutsystem / Deklination und Parallelkreise / Stundenwinkelsystem / Änderung des Systems

(1) H i m m e l s k u g e l. Der blaue Tageshimmel wölbt sich über uns. Mit der Bezeichnung „Himmelsgewölbe" geben wir den Eindruck wieder, den wir unmittelbar empfangen. Auch der sternbesäte Nachthimmel erscheint überall gekrümmt. Ob er uns genau oder nur annähernd kugelig vorkommt, soll uns zunächst gleichgültig sein. Tatsache ist es, daß man von einer „Himmelskugel" spricht und die Astronomen verstehen unter diesem Begriff folgendes: die Himmelskugel oder Himmelssphäre ist eine bloß gedankliche, mathematisch genaue Kugel — genauer gesagt: Kugelfläche — deren Mitte sich in unserem Auge befindet und deren Halbmesser als über alle Maßen groß angenommen wird. Die Himmelskugel liegt zum Teil unterhalb des Bodens, auf dem wir stehen. Eine Vorschrift für die wirkliche Ausdehnung dieser bloß vorgestellten himmlischen Sphäre gibt es nicht. Wir können sie beliebig annehmen, je nach dem Zweck, den wir mit ihrer Anwendung verfolgen. Sie ist ein mathematisches Hilfsmittel, ein gedankliches Gerät oder gedankliches Instrument der Astronomen, dessen Größe den jeweiligen Zwecken angepaßt wird. Man gebraucht die Ausdrucksweise: „der Halbmesser der Himmelskugel ist unendlich groß".

(2) „U n e n d l i c h g r o ß" u n d „u n e n d l i c h k l e i n". Wenn man ins Schwarze Meer einen Eimer Wasser schüttet, so läßt sich mit dem geduldigen Rechenstift wohl bestimmen, um wieviel sich infolge dieses Experimentes der Wasserspiegel des Meeres hebt, doch wäre die Rechnerei, ganz abgesehen davon, daß sie gar keinen praktischen Wert hat, und abgesehen davon, daß die Wasserfläche zu un-

ruhig und unbestimmt für derlei Beobachtungen ist, schon deshalb unsinnig, weil im Verhältnis zum Schwarzen Meer der Inhalt des Eimers ganz und gar nicht in Betracht kommen kann. Man gebraucht dafür die Redeweise: der Eimer ist „unendlich klein" im Verhältnis zum Schwarzen Meer, oder — was dasselbe ist — das Schwarze Meer ist „unendlich groß" im Verhältnis zum Eimer voll Wasser. Beide Aus-

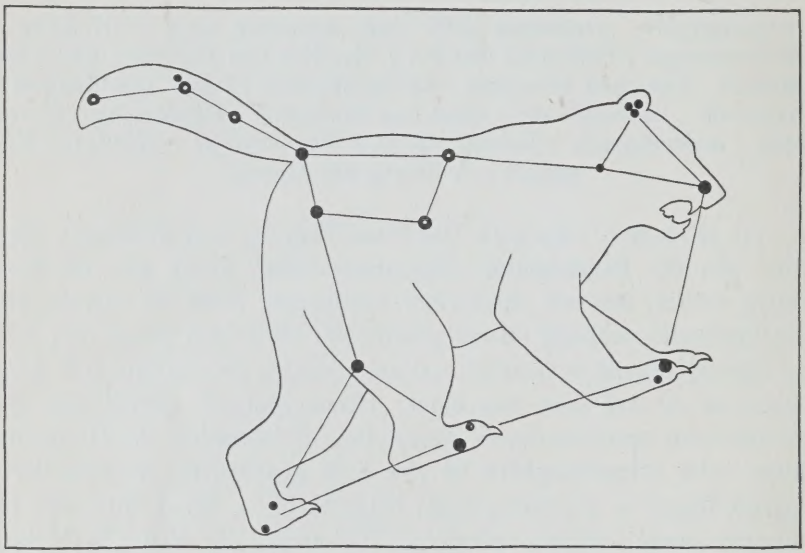


Bild 1. Sternbild des Großen Bären

drücke sind nur verhältnismäßig, bezüglich, „relativ" zu nehmen. Der Eimer ist, absolut genommen — „absolut" im Gegensatz zu relativ — weder groß noch klein. Er ist sehr klein, unendlich klein im Verhältnis zum Meer. Derselbe Eimer ist aber zugleich sehr groß, „unendlich groß" im Verhältnis zu einem Bazillus im Eimer. Wenn wir also bei unserer Himmelskugel den Halbmesser als „unendlich groß" bezeichnen, so heißt das: die Himmelskugel soll so groß sein, daß sie im Verhältnis zur gegenseitigen Entfernung unserer beiden Augen, oder im Verhältnis zu den Dimensionen unseres Beobachtungsortes „unendlich groß" sein soll. Dabei kommt es nicht darauf an, ob wir den Halbmesser des Himmels eine Million oder eine Trillion Kilometer lang, also unvorstellbar lang, annehmen oder auch, wenn es der Zweck unserer Betrachtung zuläßt, nur 100 oder 10 Kilometer groß.

(3) Horizont. Wir halten knapp vor unser Auge ein Lot (Bild 2). — Die Richtung des gespannten Fadens nennen wir die lotrechte. Sie weist „nach oben" und „nach unten". Nach oben bis zur Himmelskugel verlängert trifft sie diese in einem Punkt, den wir Scheitelpunkt oder Zenit nennen, nach unten verlängert im Nadir, dem Zenit gerade gegenüber. Legen wir in Gedanken durch unser Auge eine Ebene, parallel zu einer neben uns befindlichen Wasser-

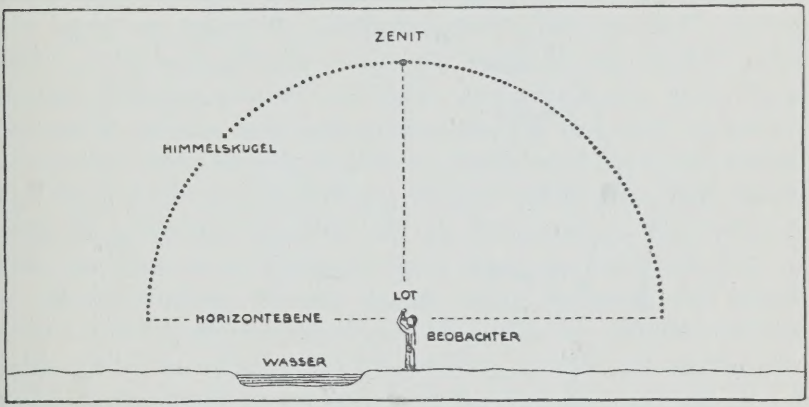


Bild 2. Wasser und Lot. Ermittlung des Horizontes und des Zenits

fläche, so erhalten wir die „Horizontebene" unseres Auges oder, wenn wir so sagen wollen, unseres Standortes. Erweitern wir diese nach allen möglichen Richtungen, so schneidet sie alle Gegenstände der Landschaft, Häuser, Bäume, in weiterer Fortsetzung die fernen Berge und schließlich, unendlich weit, die Himmelskugel. Dieser Schnitt der Horizontebene mit der Himmelskugel ist ein Kreis. Wir nennen ihn den Horizont unseres Auges oder astronomischen oder wahren Horizont unseres Auges oder Standortes. Jeder Strahl, den wir in der Horizontebene vom Auge aus ziehen, bildet mit dem Lot einen rechten Winkel: Horizontebene und Lot stehen aufeinander senkrecht. Der „landschaftliche Horizont", die Umrißlinie ferner Berge und Häuser spielt in der Astronomie nur insoferne eine Rolle, als bei Aufsuchung eines guten Beobachtungsortes darauf zu sehen ist, daß diese Umrißlinie möglichst flach ist und dem astronomischen Horizont unseres Auges in all seinen Punkten möglichst nahe kommt. In Bild 3 stellt die quer durch die Berglandschaft gezogene gestrichelte

Linie den Augenhorizont dar, die wellige Linie darüber den landschaftlichen Horizont.

(4) Himmelswagen. Wir suchen das Sternbild des Himmelswagens auf, das die wichtigsten Sterne des Großen Bären umfaßt

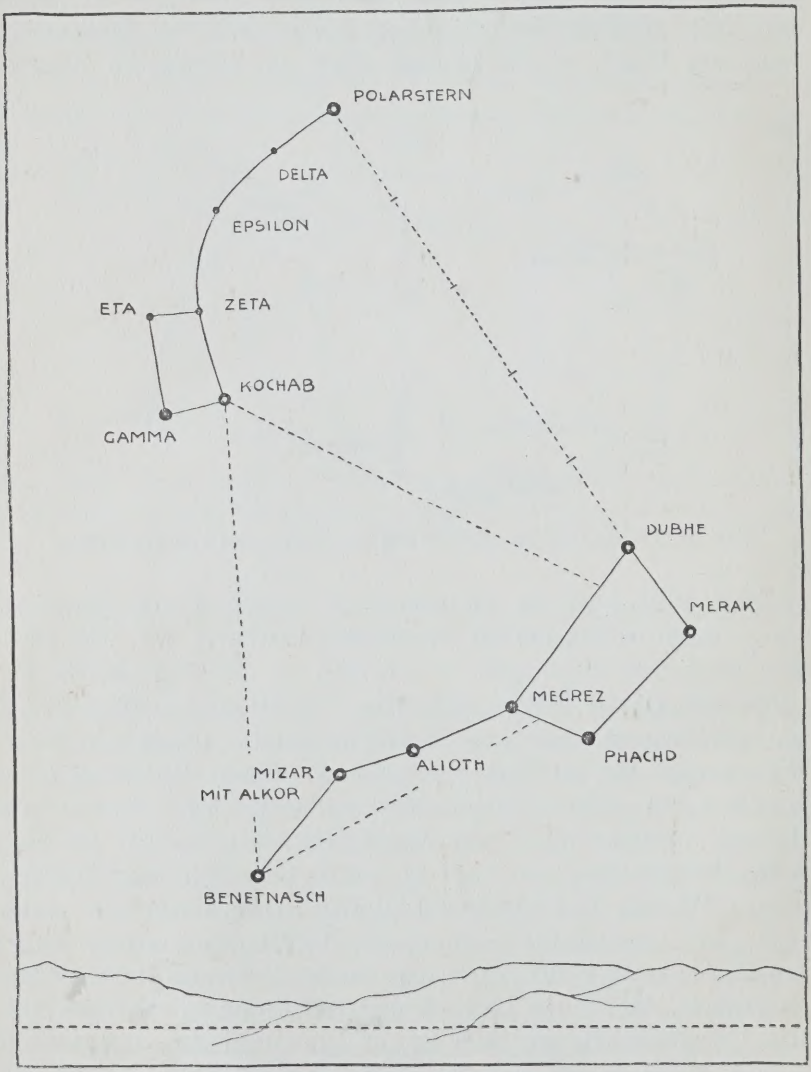


Bild 3. Großer und Kleiner Wagen. Auffinden des Polarsterns. Landschaftliche und astronomische Horizontlinie

(Bild 1 und 3). Es wird irgendwo am abendlichen Himmel glänzen, im Frühling in der Zenitgegend, im Sommer im Nordwesten in mittlerer Höhe zwischen Horizont und Zenit, im Herbst tief unten am Horizont, im Winter wieder im Nordosten in mittlerer Höhe. Die meisten hellen Sterne haben als Namen die Buchstaben des griechischen Alphabets. Die sieben hellen Sterne im Wagen haben außerdem noch arabische Namen: Dubhe, Merak, Phachd, Megrez, Alioth, Mizar und Benetnasch. Die ersten zwei und die letzten drei sind etwa gleich hell. Wir sagen: sie haben die „Helligkeit zwei", oder sie sind „zweiter Größe". Alle noch helleren nennen wir Sterne „erster Größe", unter welchem Sammelnamen wir 20 Sterne zusammenfassen, unter ihnen auch solche, die eine noch hellere Klassifikation als „eins" verdienen. Der mittlere Stern Megrez und ebenso Phachd sind nur dritter Größe. Vier Sterne bilden den eigentlichen Wagen, Alioth, Mizar und Benetnasch die gebrochene Deichsel. An der Knickstelle in unmittelbarer Nähe von Mizar ist ein schwacher Stern Alkor, das Reiterlein (Bild 1). Er gilt als Prüfstein für gute Augen. Seine Helligkeit oder Sterngröße ist „vier", aber wir sehen auch Sterne fünfter, mitunter sechster Größe mit freiem Auge. — Die Bezeichnung „Größe", auf die Sternenhelligkeit angewandt, ist ein astronomischer Fachausdruck und hat mit dem wirklichen, in Kilometern ausdrückbaren Durchmesser oder dem Kubikinhalt der Sterne nichts zu tun, er kennzeichnet immer nur die Helligkeit, oder, wie man sich genauer ausdrückt, die „scheinbare Helligkeit", für deren Klassen wir verschiedene Symbole haben.

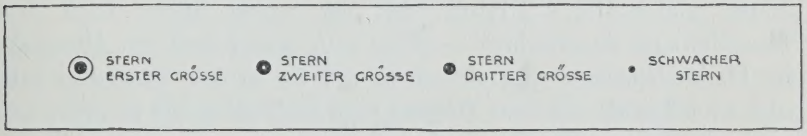


Bild 4. Symbole zur Bezeichnung der Sterngrößen
Das erste Symbol bezeichnet auch die Sterne heller als „Eins".

Innerhalb einer Größenklasse gibt es noch verschiedene Stufen. So leuchten Phachd und Megrez merklich verschieden, trotzdem beide als Sterne dritter Größe angegeben sind. Wollen wir die Helligkeitsklassen hervorheben, so benützen wir in unserem Buch die vier Symbole aus Bild 4, andernfalls setzen wir für alle Sterne beliebige Punkte.

(5) Polarstern und Pol. Wir verbinden — unabhängig

davon, wie und wo der Wagen steht — die sogenannten Polweiser Merak und Dubhe und tragen das so erhaltene Himmelsstück auf der Verlängerung der Linie, von Dubhe aus gemessen, fünfmal auf. An dieser Endstelle glänzt ein Stern zweiter Größe in sonst sternarmer Gegend — der Polarstern, in den folgenden Zeichnungen etwa in die Mitte zwischen Zenit und Horizont eingetragen. Wir verbinden des weiteren Merak und Benetnasch und errichten auf diesem

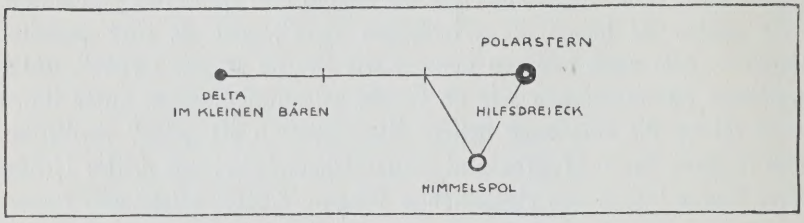


Bild 5. Hilfsdreieck zur Bestimmung des wirklichen Himmelspoles

Stück als gegebener Seite ein gleichseitiges Dreieck. An der neuentstandenen Ecke steht Kochab, daran zu erkennen, daß er mit einem zweiten, Gamma, ein auffälliges Paar bildet, die „Hüter des Pols". Von Kochab bis zum Polarstern schlagen drei lichtschwache Sterne eine Brücke, die nach der Seite des Himmelswagens zu hohl ist und durch die drei genannten Sterne in vier gleich lange Stücke geteilt wird. Das an den Polarstern unmittelbar anschließende Stück teilen wir nach Bild 5 wieder in drei gleich lange Teile und errichten zu dem an den Polarstern anschließenden Drittel als Grundlinie ein kleines, gleichseitiges Dreieck, mit der neuen Spitze nach dem Himmelswagen zu gerichtet. — Diese neue Spitze heißt der Himmelspol, Himmelsnordpol oder einfach „Pol". Er ist dem Polarstern sehr nahe, so daß es für die erste Umschau am Himmel nichts zu sagen hat, wenn wir Pol und Polarstern einfach gleichsetzen oder dem Pol den Namen „idealer Polarstern" geben. Der dem Pol auf der Himmelskugel gerade gegenüber liegende Punkt — unter dem Horizont — ist der Süd- oder Gegenpol (Bild 6). Die Strecke Pol - Auge - Gegenpol heißt die Himmelsachse, sie kann verlängert auch als Gerade ohne Ende vorgestellt werden.

(6) Meridian und Polhöhe. Der Himmelskreis, der durch Pol, Zenit und Nadir geht, heißt, weil er die Mittagsörter der Sonne zu seinen Punkten zählt, Mittagskreis oder Meridian. Seine

Schnittpunkte mit dem Horizont heißen Nordpunkt, unter dem Pol, und Südpunkt, dem Nordpunkt gegenüber (Bild 6). Die Verbindung Nordpunkt-Südpunkt ist die irdische Mittagslinie. Blicken wir gegen

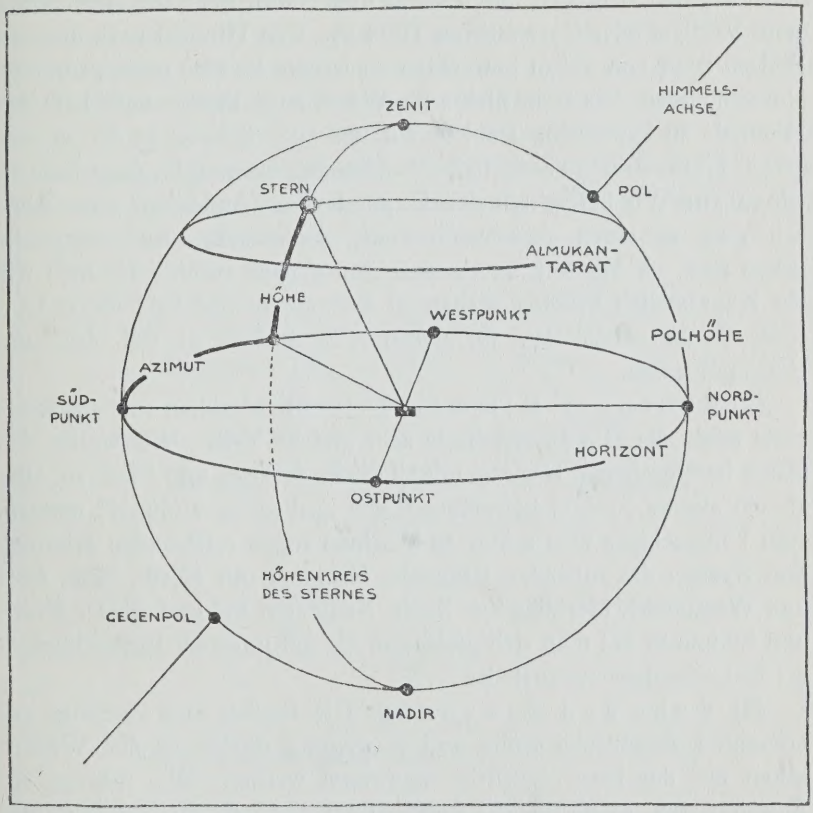


Bild 6. Himmelskugel. Polhöhe. Azimut und Höhe eines Sternes

den Nordpunkt, so ist rechts von uns der Ost-, links der Westpunkt. Diese Kardinalpunkte teilen den Horizont in vier gleiche Teile. Himmelsmeridian und irdische Mittagslinie liegen in einer und derselben vertikalen Ebene, der Meridian- oder Mittagsebene des Beobachtungsortes, die den Himmel in die westliche und die östliche Hälfte teilt, für die wir einfach West- und Osthimmel sagen. Der Horizont scheidet den Meridian in eine sichtbare und eine unsichtbare Hälfte. Den Winkel Nordpunkt-Auge-Himmelspol nennen wir die Polhöhe. Zeichnen wir ein rechtwinkeliges Dreieck mit der Grundlinie

zwei und der Spannseite drei Zentimeter, dann ist der zwischen diesen beiden eingeschlossene Winkel der für unsere Zeichnungen als Polhöhe angenommene. Er mißt achtundvierzig Grad. — Durch West- und Ostpunkt, zugleich durch Zenit und Nadir, geht der sogenannte erste Vertikal oder Ostwestkreis (Bild 7). Den Himmel nach unseren Bildern auch von außen betrachten zu lernen, ist eine unumgängliche Notwendigkeit. Es steht nichts im Wege, auch Punkte außerhalb des Himmels zu benennen. Denken wir uns zum Beispiel in der verlängerten Himmelsachse außerhalb des Himmels aufgestellt, dann können wir sagen: Wir betrachten den Himmel vom „Außenpol" aus. Ähnlich mag es einen Außenzenitpunkt, Außennadir, Außenostpunkt geben usw. — Wichtig ist es auch, den ganzen runden Himmel wie ein Kugelmodell beliebig drehen zu können, so daß bald dieser bald jener Punkt „oben" ist. So stehen z. B. in Bild 31 Pol oben und Gegenpol unten.

(7) Ruhender Himmel. Horizont, Meridian und Ostwestkreis teilen die Himmelsfläche in acht gleiche Teile. Wir wollen den bisher beschriebenen Himmel mit all seinen Kreisen und Punkten, alles als ein starres System betrachtend, den „ruhenden Himmel" nennen, zum Unterschiede vom später zu beschreibenden rotierenden Himmel. Das System des ruhenden Himmels, Horizont mit Nord-, Süd-, Ost- und Westpunkt, Meridian mit Zenit, Nadir und Pol und wieder Nord- und Südpunkt hat man sich gleichsam als mit unserem Beobachtungsort fest verankert vorzustellen.

(8) Ruhe und Bewegung. Die täglich und vielfältig gebrauchten Ausdrücke Ruhe und Bewegung dürfen in der Wissenschaft nur durchaus eindeutig angewandt werden. Wir nehmen ein Beispiel: Ich spiele im Eisenbahnabteil Schach. Daß mein Turm „ruht", hat streng physikalisch gedacht — denn die Begriffe Ruhe und Bewegung gehören ins Gebiet der Physik — zunächst überhaupt keinen Sinn. Der Turm ruht vielleicht in bezug auf das Schachbrett, während er gleichzeitig mit mir in bezug auf die Station dahinsaust. Aber vielleicht ziehe ich ihn entgegen der Richtung unseres fahrenden Zuges, so daß er, während ich ihn ziehe, zufällig gerade über derselben Kerbe einer Eisenbahnschwelle bleibt und dann in bezug auf die Station in Ruhe und gleichzeitig in bezug auf das Schachbrett bewegt ist. — Alle Ruhe und alle Bewegung ist bezüglich oder relativ. Daß dieses nicht nur für die so einfache gleichförmige und geradlinige Ver-

änderung in unserem Beispiel gelten soll, sondern ganz allgemein, für jede noch so verwickelte Bewegung, auch für die Drehbewegung, ist eine wichtige grundlegende physikalische Forderung. Wenn wir hier vom ruhenden Himmel und von ruhenden Kreisen oder Punkten sprechen, so ist damit, wenn nichts anderes ausdrücklich hervorgehoben wird, stillschweigend aber sicher die Bezugnahme auf den festen Boden gemeint, auf dem wir als Beobachter stehen.

(9) Himmelsäquator. Den Himmelskreis, der vom Pol und Gegenpol gleichweit absteht, nennen wir den ruhenden Himmelsäquator oder, wenn keinerlei Verwechslung befürchtet werden muß,

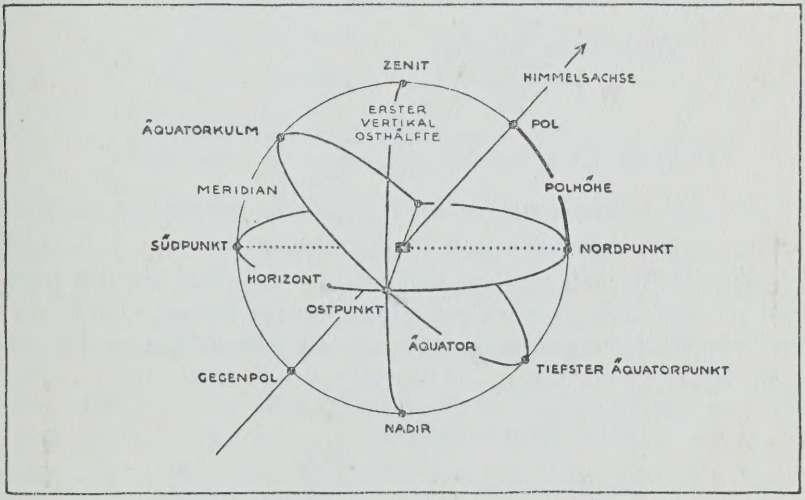


Bild 7. Himmelsäquator. Äquatorkulm. Erster Vertikal

einfach den ruhenden Äquator (Bild 7). Seine Ebene steht senkrecht zur Himmelsachse. Wie der Meridian, so ist auch der ruhende Himmelsäquator nur zur Hälfte über dem Horizont und wird ebenso wie der Horizont durch Ost- und Westpunkt halbiert. Der höchste Äquatorpunkt, der Äquatorkulm, liegt im Meridian, ebenso auch unter dem Horizont der tiefste. Durch den Äquator, der auch Gleicher genannt wird, wird der Himmel in zwei gleiche Hälften geteilt, die nördliche, die den Pol, und die südliche, die den Südpol oder Gegenpol enthält.

(10) Bogen- und Zeitmaß. An der Himmelskugel können wir Strecken messen, wie das Stück Dubhe-Megrez, andererseits

Flächen, wie das Trapez im Wagen. Da wir über die Größe der Himmelskugel, über die Länge ihres Halbmessers nichts bestimmtes aussagen wollen, sind wir genötigt, die Entfernung z. B. dieser zwei Sterne dadurch anzugeben, daß wir sagen, wie groß der Winkel Dubhe - Auge - Megrez ist. — Wird ein rechter Winkel in 90 gleiche Teile geteilt, so ist ein solch neuentstandener kleiner Winkel ein Grad groß (1^0), der 60. Teil dieses Winkels ist eine Bogenminute ($1'$), deren 60. Teil eine Bogensekunde ($1''$). Die Benennung „Bogen" deutet an, daß wir statt des Winkels, dessen Scheitel unser Auge ist, auch den entsprechenden Bogen am Himmel nehmen können. — Wir schreiben im Bogenmaß:

$$\begin{aligned} \text{Voller Kreis} &= 360^0 \\ 1^0 &= 60' \\ 1' &= 60'' \end{aligned}$$

$$\text{Voller Kreis} = 360^0 = 21\,600' = 1\,296\,000''.$$

Aus guten Gründen teilen wir Kreise mitunter statt in 360 Grad auch in 24 Stunden (24^h) zu je 60 Zeitminuten (60^m), zu je 60 Zeitsekunden (60^s). Wir betonen ausdrücklich, daß diese Namen, trotzdem sie an Zeiten erinnern und auch Zeitmaße heißen, zunächst nur Winkel oder Bogen bezeichnen, mit der Zeit als solcher also vorläufig nichts zu tun haben. — Wir schreiben im Zeitmaß:

$$\begin{aligned} \text{Voller Kreis} &= 24^h \\ 1^h &= 60^m \\ 1^m &= 60^s \end{aligned}$$

$$\text{Voller Kreis} = 24^h = 1440^m = 86\,400^s.$$

Die Umwandlung von Zeit- in Bogenmaß geschieht nach folgendem Schema, bei dem man Zeile für Zeile einmal links, dann rechts so dividiert, daß auf einer Seite 1 herauskommt:

$$\begin{aligned} 24^h \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; &= 360^0 \\ 1^h \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; &= 15^0 \\ 4^m \;.\;.\;.\;.\; &= 1^0 \\ 1^m \;.\;.\;.\;.\; &= 15' \\ 4^s \;.\;.\;. &= 1' \\ 1^s \;.\;.\;. &= 15'' \\ {}^1/_{15}{}^s \;.\;.\;. &= 1'' \end{aligned}$$

In den „Himmelstafeln“ am Schluß des ersten Teiles geben eine Bogen - Zeit - Tafel und eine Zeit - Bogen - Tafel die Möglichkeit weiterer Umrechnungen.

(11) Arcuszahl. Es gibt noch eine dritte sehr brauchbare Art, die Größe eines Winkels anzugeben, in der Form des sogenannten Arcusmaßes. Wir legen um den Scheitel des zu bestimmenden Winkels einen Kreis mit dem Halbmesser von 1 Zentimeter, den Einheits-

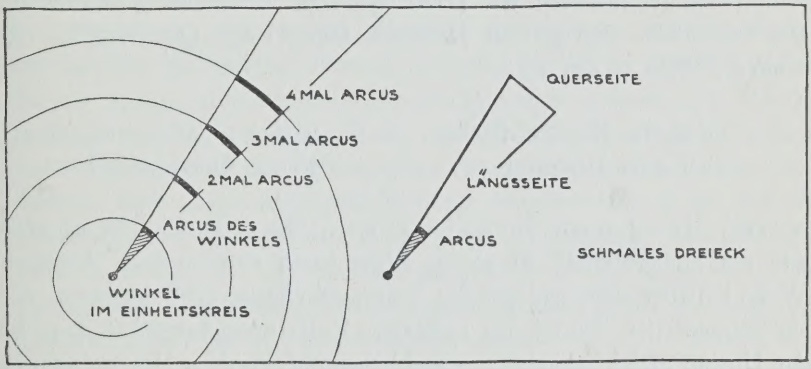


Bild 8. Arcus eines Winkels ist das ihm entsprechende Bogenstück auf dem Einheitskreis, dessen Halbmesser ein Zentimeter beträgt.
Satz vom schmalen Dreieck: Querseite = Längsseite mal Arcuszahl.

kreis (Bild 8). Sein Umfang ist 6,28, der halbe Umfang 3,14, die Länge des Viertelkreises 1,57 Zentimeter lang. — Statt nun anzugeben: Man zeichne einen Winkel von 90 Grad, kann man auch sagen: man nehme den Winkel, dessen Schenkel am Umfang des Einheitskreises 1,57 Zentimeter einschließen, oder kurz, dessen Arcus 1,57 Zentimeter lang ist. Arcus ist also gleichbedeutend mit: in Zentimetern ausgedrückte Bogenlänge auf dem Einheitskreis. So ist z. B. der Arcus von 60 Grad 1,05 Zentimeter. — 1,05 wollen wir die Arcuszahl von 60 Grad nennen. Weitere Beispiele liefern unsere Himmelstafeln. — Ziehen wir nach Bild 8 um den Scheitel eines Winkels konzentrische oder gleichmittige Kreise mit den Halbmessern 1, 2, 3, 4 Zentimeter usw., so ist das von den zwei Schenkeln eingeschlossene Stück im 1. Kreis der Arcus des Winkels, das entsprechende Stück im 2. Kreis ist zweimal, das im 3. dreimal, das im 4. viermal größer als der Arcus. Das letztgenannte Stück erhalten wir also, indem wir den Arcus mit 4, oder, was auf dasselbe herauskommt,

4 Zentimeter mit der reinen Arcuszahl multiplizieren. Fassen wir (nach Bild 8) einen sehr spitzen Kreisausschnitt als Dreieck auf, so gilt also der Satz „vom schmalen Dreieck“: die Querseite ist gleich der Längsseite, multipliziert mit der Arcuszahl des Winkels.

(12) Himmelsfläche. Himmelsflächen messen wir mit Quadraten, deren jede Seite einen Grad beträgt und nennen diese Flächeneinheit einen Quadratgrad. In ein solches Einheitsquadrat an der Himmelskugel könnten wir (Bild 65) vier Vollmonde einschreiben. Die Oberfläche des ganzen Himmels faßt 41 253 Quadratgrad. In runden Zahlen setzen wir:

Gesamte Himmelsfläche . . .	40 000 Quadratgrad,
über dem Horizont	20 000 Quadratgrad.

(13) Grad und Zentimeter. „Der Vollmond ist so groß wie ein Suppenteller“ ist so im allgemeinen eine sinnlose Aussage. Wenn ich aber sage, daß mir der Vollmond ebenso groß erscheint, wie ein Suppenteller, den ich aus 12 Metern Entfernung betrachte, dann ist der Unsinn gleich repariert. — Dubhe und Megrez im Himmelswagen

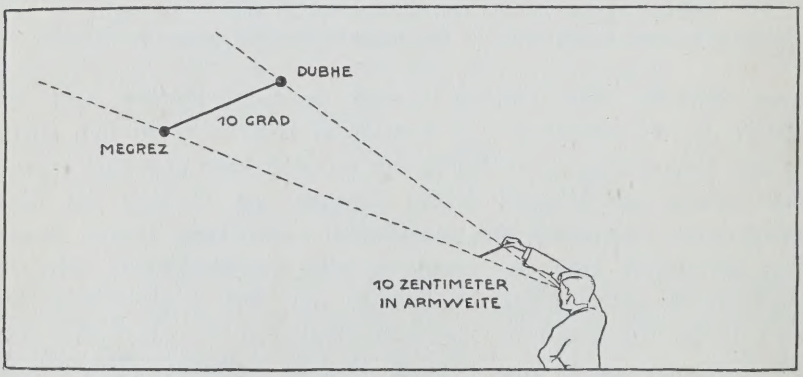


Bild 9. Ein Grad am Himmel = ein Zentimeter in Armweite.

sind gewiß nicht 10 Zentimeter voneinander entfernt, aber wenn ich ein Bleistiftstück von dieser Länge mit ausgestrecktem Arm vor den Himmel halte, dann können diese 10 Zentimeter den eben gemeinten Himmelsbogen, der 10 Grad mißt, decken (Bild 9). Es entspricht einem Grad am Himmel ein Zentimeter in 57 Zentimetern Entfernung

vom Auge. Für ungefähre Schätzungen ist die nicht mißzuverstehende Regel

1 Zentimeter in Armweite = 1 Grad

gut zu gebrauchen.

(14) Koordinaten. Wenn wir auf dieser Seite unseres Buches einen Punkt bestimmen wollen, geben wir z. B. an, daß er vom linken Rande 67, vom unteren Rande 141 Millimeter weit entfernt ist. Wir nennen diese beiden Strecken oder Zahlen die Koordinaten des uns interessierenden Punktes in bezug auf die beiden Randlinien, die wir Ausgangslinien oder Koordinatenachsen nennen. Den Schnittpunkt derselben, in unserem Falle also die linke untere Ecke, nennen wir Ausgangspunkt der Zählung oder Koordinatenursprung. Auf jeder Ebene, auch auf jeder gekrümmten Fläche, also auch auf der Himmelskugel, genügen zur eindeutigen Bestimmung eines Punktes zwei Koordinaten, wenn Ausgangspunkt und irgend welche Ausgangslinien, z. B. Ausgangskreise gegeben und die Richtungen festgesetzt sind, in denen messend gezählt wird.

(15) Sternhöhe. Ein Stern nimmt in einem bestimmten Augenblick, z. B. heute abend um 9 Uhr, einen bestimmten Punkt an der ruhenden Himmelskugel ein. Wir bestimmen diesen Himmelspunkt, indem wir z. B. nach Bild 6 durch Auge, Zenit und den hinten am Westhimmel gelegenen Stern eine Ebene, die Vertikalebene des Sternes, legen. Diese schneidet den Himmel im Scheitelkreis des Sternes. Dessen Hälfte, vom Zenit durch den Stern durch bis zum Nadir, heißt der Höhenkreis des Sternes. Er sollte eigentlich Höhenhalbkreis heißen. Den im Horizont gelegenen Punkt des Höhenkreises bezeichnet man als Höhenfußpunkt. Das in Graden gemessene Stück des Höhenkreises vom Horizont bis zum Stern ist die „Höhe" des Sternes. Sie hat als reine Winkelangabe mit Metern oder Kilometern ebensowenig etwas zu tun wie die „Sterngröße", die nur Helligkeiten angibt. Dies eine Bestimmungsstück reicht zur Ermittlung des gewünschten Himmelspunktes nicht aus; denn all die Punkte, die auf dem durch den Stern gelegten und zum Horizont parallelen Kreis, dem Almukantarat des Sternes, liegen, haben ebenfalls zur Höhe die gleiche Gradanzahl wie unser Stern (Bild 6). Das Stück des Höhenkreises vom Zenit bis zum Stern heißt dessen Zenitdistanz. Zenitdistanz und Höhe ergeben zusammen einen rechten Winkel. Die

Zenitdistanz kann von 0 bis 180 Grad, also bis zum Nadir, gezählt werden. Sie ist stets positiv, während Höhen unter dem Horizont als negative bezeichnet werden. — Die Kreismitten der verschiedenen Almukantarate liegen in der Lotlinie, nicht in unserem Auge. Die Almukantarate sind sogenannte Nebenkreise auf der Himmelskugel, im Gegensatz zu den Haupt- oder „größten Kreisen", deren Mitte in unserem Auge liegt. Ist nicht das Gegenteil ausdrücklich betont, so sind unter Kugelkreisen größte zu verstehen. Von den 180 Graden vom Nordpunkt über Pol, Zenit und Äquatorkulm bis zum Südpunkt entfallen 90 Grad auf das Stück Pol-Äquatorkulm, so daß die Höhe des Äquatorkulms die Polhöhe zu 90 Grad ergänzt. In unseren Zeichnungen hat demnach der Äquatorkulm die Höhe 42 Grad.

(16) Azimutsystem. Durch die Höhe allein wird ein Sternort nicht eindeutig bestimmt. Es können alle Punkte des betreffenden Almukantarates gemeint sein. Wir benötigen noch eine zweite Koordinate, das Azimut. Dies gibt an, durch welchen Punkt des Horizontes der bestimmte Höhenkreis des Sternes hindurchgeht, wo also der Höhenfußpunkt des Sternes liegt. — Der Horizont wird vom Südpunkt aus über West-, Nord- und Ostpunkt in 360 Grade geteilt und man nennt die Gradanzahl, bei der der Höhenkreis des Sternes bei dieser Einteilung den Horizont schneidet, das Azimut des Sternes (Bild 6). Es wird, wenn nichts anderes gesagt, in der im Bild angegebenen Weise vom Südpunkt über Westen gezählt, doch kann es auch von Süd nach Ost oder vom Nordpunkt aus nach Ost oder West gezählt werden. Der Äquatorkulm hat das Azimut Null. — Morgenweite eines im Horizont befindlichen Sternes ist das Stück des Horizontes vom Ostpunkt bis zum Stern, Abendweite das Stück des Horizontes vom Westpunkt bis zum Stern. Morgen- und Abendweite, gegen Norden oder Süden gezählt, sind Azimute, die ausnahmsweise vom Ost- oder Westpunkt aus gerechnet werden. — Sprechen wir vom Azimutsystem, das auch Horizontsystem genannt wird, so meinen wir damit: den Horizont mit all seinen Punkten — dazu den Meridian mit all seinen Punkten, endlich den Ostwestkreis mit all seinen Punkten, also insbesondere auch mit Zenit und Nadir, sowie die bisher erwähnten Haupt- und Nebenkreise der Himmelskugel, mit Ausnahme des Äquators. Grundkreis dieses Azimutsystems ist der Horizont, Pol des Systems der Zenitpunkt.

(17) Deklination und Parallelkreise. Die Deklina-

tion eines ruhenden Sternes ist das auf dem Halbkreis Pol-Stern-Gegenpol gemessene Stück zwischen Äquator und Stern (Bild 10). Sie ist positiv oder negativ, je nachdem der Stern auf der nördlichen oder südlichen Himmelshalbkugel liegt. Durch die Deklination allein wird ein Himmelspunkt nicht bestimmt. Alle Punkte gleicher Deklination liegen auf einem Kreis, der parallel zum Äquator laufend von diesem überall gleich weit absteht. Ein solcher Kreis heißt Parallelkreis oder kurz Parallel. Jeder Deklination entspricht ein bestimmter Parallel. Das Stück vom Pol bis zum Stern heißt die Poldistanz des Sternes. Poldistanz und Deklination geben zusammen 90 Grad. Die Poldistanz kann auch bis zum Gegenpol, also bis 180 Grad gezählt werden. Der wichtigste Parallelkreis, mit der Deklination Null, ist der Himmelsäquator. Er ist zugleich der größte Parallel, die anderen werden als Nebenkreise umso kleiner, je mehr sie sich dem Pol oder Gegenpol nähern. An diesen zwei Stellen verschwinden sie zu Punkten. Wichtige Parallelkreise sind noch die zwei Wendekreise, nördlich und südlich, mit der Deklination von 23½ Grad (Bild 31), die Polarkreise, nördlich und südlich, mit der Deklination 66½ Grad oder der Poldistanz 23½ Grad, endlich der Nord- und der Südkreis. Der Nordkreis ist der durch den Nordpunkt, der Südkreis der durch den Südpunkt gehende Parallel.

(18) Stundenwinkelsystem. Der Stundenkreis oder Uhrkreis eines Sternes ist der vom Pol durch den Stern bis zum Gegenpol gezogene Halbkreis. Seine Ebene, von der Himmelsachse aus durch den Stern gelegt, heißt die Stundenebene des Sternes. Wir legen (Bild 10) durch einen Stern dessen Stundenkreis und erhalten so den Schnittpunkt zwischen Stundenkreis und Äquator. Das Äquatorstück, vom Äquatorkulm gegen Westen zu bis zu diesem Schnittpunkt gerechnet, heißt der Stundenwinkel des Sternes. Er wird in Graden oder Stunden gezählt und zwar vom Äquatorkulm aus gegen West. Durch den Stundenwinkel allein wird ein Punkt nicht bestimmt, es haben alle Punkte eines Stundenkreises denselben Stundenwinkel. Erst Stundenwinkel und Deklination zusammen, also wieder zwei Koordinaten, bestimmen eindeutig einen Punkt am ruhenden Himmel. Der durch den Äquatorkulm gehende Stundenkreis heißt auch Null Uhr-Kreis. Der ruhende 1 Uhr-Kreis schließt mit ihm den Winkel von einer Stunde oder 15 Grad ein. Der 6 Uhr-Kreis geht durch den Westpunkt, der 12 Uhr-Kreis durch den Nordpunkt und tiefsten

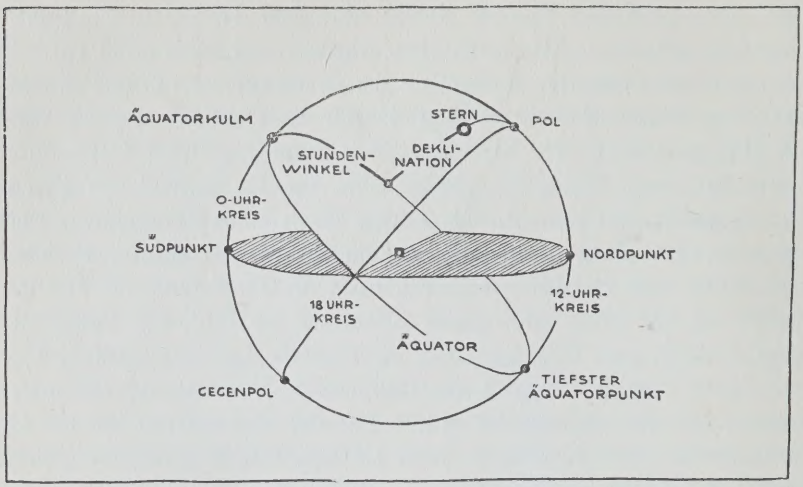


Bild 10. Stundenwinkel und Deklination eines Sternes

Äquatorpunkt, der 18 Uhr-Kreis durch den Ostpunkt. Der 24 Uhr-Kreis ist gleichbedeutend mit dem Null Uhr-Kreis und fällt ebenso wie der 12 Uhr-Kreis in den Meridian. All diese Halbkreise sind als ruhend zu betrachten.

(19) Änderung des Systems. Wir können ein Modell des ruhenden Azimutsystems in das des ruhenden Stundenwinkelsystems dadurch überführen, daß wir in Gedanken das erstere um die Ost-Westlinie kippen, so daß der Zenitpunkt dorthin zu liegen kommt, wo sich der Pol befindet. Aus dem Horizont wird dann der Äquator. Der Südpunkt deckt sich mit dem Äquatorkulm. — Der Nordpunkt sinkt unter den Horizont und deckt sich mit dem tiefsten Äquatorpunkt. Nadir wird Gegenpol. Höhen- werden zu Stundenkreisen, Almukantarate zu Parallelkreisen. Ost- und Westpunkt ändern sich nicht, sie gehören ebenso wie die Ostwestlinie samt dem Beobachtungsort beiden Systemen gemeinsam an. — Zur Kennzeichnung eines Sternortes kann auch das „astronomische Dreieck" Zenit-Pol-Stern angegeben werden. Der Dreieckwinkel am Stern heißt der parallaktische. Er wird vom Stunden- und Höhenkreis des Sternes eingeschlossen.

ZWEITER ABSCHNITT

SONNENBAHN AM RUHENDEN HIMMEL

Sonnenscheibe / Tageskreise / Tageslängen / Sonnentermine / Jahreszeiten / Jahresschraube / Schraubenmodell / Sonnendeklinationen / Ideale Uhr / Mittlere und wahre Sonne / Zeitgleichungskurve / Nullstellen / Mittlerer und wahrer Sonnentag / Februar- und Novembersonne / Längster und kürzester wahrer Tag / Sonnenuhren / Kegelschnitte

(1) Sonnenscheibe. Sonne und Mond erscheinen uns als Scheiben von etwa einem halben Grad querdurch. Der Durchmesser der Sonne mißt 32 Bogenminuten. Der Betrag kann als mittlerer, als Durchschnittswert aufgefaßt werden. In Wirklichkeit ist dieser Winkelwert je nach der Jahreszeit Änderungen unterworfen. Er schwankt zwischen 32½ Anfang Januar und 31½ Anfang Juli. Die gesamte Schwankung beträgt etwa eine Bogenminute oder drei Prozent des Durchmessers. Innerhalb kurzer Zeiträume, z. B. innerhalb eines Tages, kann der Sonnendurchmesser als „konstant" angesehen werden. Mit diesem Begriff wollen wir nichts anderes bezeichnen, als daß die Abweichungen von einer von uns ausgesprochenen Größe für den Zweck unserer Betrachtung als unendlich klein angesehen werden sollen.

(2) Tageskreise. Für unsere Gegend geht die Sonne täglich in der Osthälfte des Horizontes auf, wandert für einen nach Süden Blickenden rechts aufwärts, erreicht um Mittag „kulminierend" ihren höchsten Stand im Meridian und geht nachmittags rechts abwärts, bis sie abends in der Westhälfte des Horizontes verschwindet. Das Azimut der Sonne, von links nach rechts gezählt, nimmt fortwährend zu, morgens und abends langsamer, zu Mittag rascher. Die Höhe nimmt vormittags zu, und zwar morgens stärker als gegen Mittag, nachmittags ab, am frühen Nachmittag in schwächerem Maße als am Abend. Der Stundenwinkel ändert sich beständig, während die Deklination tagsüber sozusagen dieselbe bleibt, so daß wir die ganze tägliche Bahn der Sonne als geschlossenen Kreis auffassen dürfen. Sie

beschreibt über dem Horizont ein Stück eines Parallels, den Tagbogen, den wir uns unter dem Horizont durch den Nachtbogen zu einem ganzen Parallel ergänzt denken. Diesen durchläuft die Sonne in 24 Stunden, sie beschreibt also in einer Stunde 15 Grad. Die Einteilung eines Kreisumfanges in 24 Teile hat hier engsten und selbstverständlichen Zusammenhang mit unserer Zeitzählung nach Stunden. Im vorigen Abschnitt waren eine Stunde für $^1/_{24}$ des vollen Kreises und deren Unterteilungen, Zeitminuten und Zeitsekunden, bloße Namen für Winkelbeträge, sonst nichts. Von jetzt an sind diese Begriffe ausdrücklich auch Zeitmaße, ohne daß sie aufhörten, gelegentlich als bloße Winkel angesehen zu werden, z. B. als Ortsangaben auf Sternkarten. Wird von Minute oder Sekunde schlechthin gesprochen, so soll damit immer eine reine Zeitangabe gemeint sein. — Ein Tageskreis der Sonne enthält 1) den Aufgangspunkt im östlichen Horizont, 2) den oberen Kulminationspunkt im Meridian, 3) den Untergangspunkt im westlichen Horizont, 4) den unteren Kulminationspunkt als zweiten Schnittpunkt des Tageskreises mit dem Meridian unter dem nördlichen Horizont.

(3) Tageslängen. Da ein Kreis eine in sich geschlossene Linie ist, müßte die Sonne auf ihrem Tageskreis, wenn sie sich heute in einem bestimmten Punkt des Horizonts erhebt, immer wieder in denselben Punkt zurückkehren, der Sonnenaufgang müßte also für uns, die wir zunächst stets am selben Beobachtungsort bleiben mögen, stets im selben Punkt erfolgen und die Sonne müßte so für uns zu Mittag immer gleich hoch stehen. Die Erfahrung lehrt aber folgendes: Am 22. Dezember geht die Sonne in südöstlicher Gegend auf. Es ist — alles in ganz schematischen Zahlen und nur für unsere Gegend maßgebend — nur 8 Stunden heller Tag, kürzester Tag, und 16 Stunden dunkle Nacht, längste Nacht. In Bild 11 sind nur die halben Beträge vermerkt. — Die Dämmerungserscheinungen lassen wir hier außer acht und betrachten alles rein geometrisch. — Der Aufgangspunkt verschiebt sich von Tag zu Tag, er rückt immer mehr gegen Osten, Ende Dezember und im Januar langsamer, im Februar rascher. Seine Deklination ändert sich fortwährend. Am 21. März erfolgt der Sonnenaufgang im Ostpunkt. Es ist 12 Stunden Tag und 12 Stunden Nacht, Frühlingsnachtgleiche oder die Zeit des Frühlingsäquinoktiums. Am 22. Juni erreicht die Sonne bei ihrem Aufgang ihre größte nördliche Morgenweite. Es ist 16 Stunden Tag, längster Tag, und

8 Stunden Nacht, kürzeste Nacht des ganzen Jahres. Der Aufgangspunkt wechselt dann in seiner Jahreswanderung die Richtung und geht vom 22. Juni bis zum 22. Dezember im Horizont von links nach rechts zurück, wobei sich für den 23. September wieder Nachtgleiche ergibt, die Herbstnachtgleiche oder das Herbstäquinoktium. Auch die täglichen Kulminationspunkte pendeln im Himmelsmeridian auf und ab. Die höchste Erhebung, 23½ Grad über dem Äquatorkulm, und gleichzeitig den nördlichsten Auf- und Untergangspunkt, damit die größte Ausdehnung, hat der Tagbogen der Sonne am 22. Juni. Am 22. Dezember hat die Sonne die kleinste mittägige Erhebung, gelangt nur bis 23½ Grad unter dem Äquatorkulm und hat zugleich den südlichsten Aufgangs- und Untergangspunkt, damit die geringste Tagbogenlänge. Am 21. März und 23. September fällt der Aufgangspunkt mit dem Ostpunkt, der Untergangspunkt mit dem Westpunkt zusammen, der Kulminationspunkt mit dem Äquatorkulm.

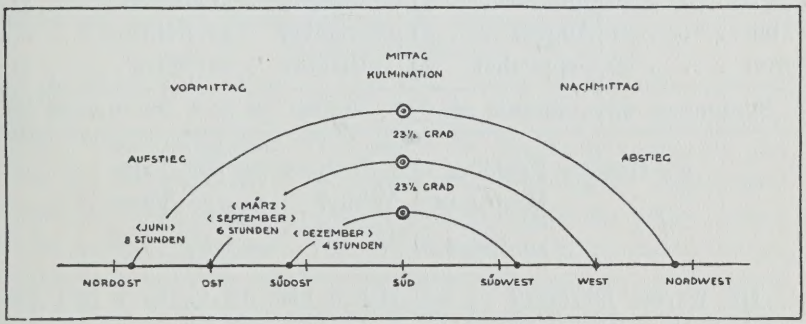


Bild 11. Aufgerollte Himmelskulisse. Tagesbahn der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten. Auf- und Untergang. Kulmination

Die Sonne gleitet an diesen Tagen den ruhenden Himmelsäquator, am 22. Dezember den südlichen, am 21. Juni den nördlichen Wendekreis entlang.

(4) Sonnentermine. Man nennt die Jahreszeit, während der die Sonne bei zunehmender Deklination zwischen Äquator und nördlichem Wendekreis aufgeht, kulminiert und untergeht, Frühling. Sommer ist die Zeit, während der die Sonne bei abnehmender Deklination zwischen nördlichem Wendekreis und Äquator aufgeht, kulminiert und untergeht. Die nächste Jahreszeit, während der sie bei weiter abnehmender Deklination zwischen Äquator und südlichem

Wendekreis sich befindet, nennen wir Herbst, die restliche Jahreszeit Winter. Die kalendermäßig benannten Zeitangaben, 21., 22., 23., schwanken um einen Tag auf oder ab. Wir führen deshalb und der Einfachheit wegen für diese wichtigen Sonnentermine die allgemeine Bezeichnung ⟨März⟩, ⟨Juni⟩, ⟨September⟩, ⟨Dezember⟩ ein. Entsprechend sollen auch ⟨Januar⟩ und ⟨Februar⟩ den ungefähr 21. Januar und Februar bezeichnen. Ebenso sollen ⟨Frühling⟩, ⟨Sommer⟩, ⟨Herbst⟩ und ⟨Winter⟩ den Augenblick des jeweiligen Beginnes der betreffenden Jahreszeit bedeuten.

(5) Jahreszeiten. Die vier Jahreszeiten sind, wie aus den Zusammenstellungen der Tagesanzahl hier ersichtlich ist, nicht gleich lang.

Frühling	Sommer	Herbst	Winter
März . . . 10	Juni . . . 8	September . 7	Dezember . 9
April . . . 30	Juli . . . 31	Oktober . . 31	Januar . . 31
Mai . . . 31	August . . 31	November . 30	Februar . . 28
Juni . . . 22	September . 23	Dezember . 22	März . . . 21
Summe = 93	Summe = 93	Summe = 90	Summe = 89

Es ergeben Frühling und Sommer = 186 Tage
Herbst und Winter . = 179 Tage
zusammen . . . . . = 365 Tage

Die warme Jahreszeit — wir ziehen hier die Grenzen rein geometrisch ohne Rücksicht auf die wirklichen und sehr schwankenden meteorologischen Verhältnisse — ist 7 Tage länger als die kalte.

(6) Jahresschraube. Bisher sahen wir von der Deklinationsänderung der Sonne auf ein- und demselben Tagbogen ab. Tatsächlich finden fortwährend, selbst innerhalb kleinster Stundenteile, Änderungen statt. Beim Durcheilen eines ganzen Tageskreises summieren sich diese winzigen Beträge derart, daß wir, wenn wir eine gestrige mit einer heutigen Beobachtung vergleichen, eine Veränderung der Deklination schon in Kauf nehmen müssen. Könnte die Sonnenmitte ihre Bahn am ruhenden Himmel derart verewigen, daß sie ihre Spur gleichsam am Firmament einbrennt, so hätten wir eine Schraubenlinie vor uns, deren Windungen von ⟨Dezember⟩ bis ⟨Juni⟩ aufsteigen, im ⟨Juni⟩ sich wenden, wieder absteigen, um im ⟨Dezember⟩ das Spiel

von neuem zu beginnen. Die Namen Sonnenwende für die Termine ⟨Juni⟩ und ⟨Dezember⟩ und die Bezeichnung Wendekreis werden so begreiflich.

(7) Schraubenmodell. Wir können uns ein Modell zurechtlegen, einen Himmelsglobus, auf den Windungen aus feinem Draht

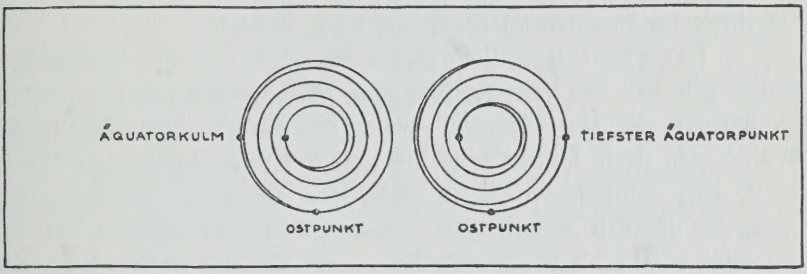


Bild 12. Schema der Jahresschraubenbahn der Sonne am ruhenden Himmel, vom Außenpol aus gesehen. Links Aufstieg im Frühling. Rechts Abstieg im Sommer. Die äußeren Kreise bedeuten den Äquator, die inneren den nördlichen Wendekreis.

aufgetragen sind, für den Winter 89, für den Frühling 93, also zusammen 182 aufsteigende Windungen, für den Sommer 93, für den Herbst 90, also zusammen 183 absteigende Windungen. Unser rohes Schema (Bild 12) zeigt statt der vielen Windungen nur einige wenige für die warme Jahreszeit. Die Windungen müßten, wenn sie der wirklichen Anordnung am Himmel entsprechen sollten, in der Nähe des Äquators lockerer, in der Nähe der Wendekreise immer dichter liegen, da die Deklinationen der Sonne sich um die Zeit der Sonnenwenden langsamer, in der Äquatornähe rascher ändern. In Wirklichkeit schmiegt sich die Sonnenbahn im ⟨März⟩ und ⟨September⟩ ganz eng an den Äquator an. Ihr Schnittpunkt mit dem Äquator kann im Grunde genommen in jedem Punkt des Äquators liegen, was aber nichts anderes bedeutet, als daß der Beginn von Frühling und Herbst zu jeder Tageszeit, morgens, mittags, abends oder in der Nacht erfolgen kann. Dasselbe gilt auch für den Beginn des Sommers und des Winters. Die Ergebnisse der jeweiligen Vorausberechnung bringen die Kalender.

(8) Sonnendeklinationen. Messen wir etwa jeden zehnten Tag des Jahres die Mittagshöhe der Sonne, dann können wir die jeweiligen Sonnendeklinationen so bestimmen, daß wir, wenn die

Sonne über dem Äquator steht, die Höhe des Äquatorkulms von der Sonnenhöhe abziehen, und wenn die Sonne unter dem Äquator steht, von der Höhe des Äquatorkulms die Sonnenhöhe abziehen. Tragen wir so die positiven und negativen Sonnendeklinationen, etwa von rechts nach links auf, rechts mit ⟨März⟩ beginnend, so ergibt sich eine Schlangenlinie (Bild 32). Sie ist am steilsten im ⟨Frühling⟩ und ⟨Herbst⟩, am flachsten im ⟨Sommer⟩ und ⟨Winter⟩.

(9) Ideale Uhr. Wir nehmen an, wir hätten eine ideal gleichmäßig gehende Uhr mit 24stündigem Zifferblatt, deren Einrichtung im übrigen der einer gewöhnlichen, ganz erstklassigen Taschenuhr ähnlich sein darf. Unsere erdachte Uhr soll selbst in tausend Jahren weder eine Sekunde vor- noch nachgehen. Sie möge aber nur einen einzigen, nämlich den Stundenzeiger haben. Im übrigen sei das 24stündige Zifferblatt so wunderbar geteilt, daß wir an ihm außer den Stunden auch Minuten und Sekunden ablesen können. Unsere Uhr stellen wir am 16. April so ein, daß sie im Augenblick der Kulmination des Sonnenmittelpunktes genau 12 Uhr zeigt. — Wir wissen nun, daß die Sonne in 24 Stunden in ihrem Tageskreis einmal um die Himmelsachse herumgeht. Würde diese Zeit des Umkreisens unveränderlich sein, so müßte z. B. am 17. April, ebenso auch an jedem anderen Tage, die Idealuhr im Augenblick der Sonnenkulmination genau 12 Uhr zeigen. Dies ist aber, wie sich auch mit einer gewöhnlichen Uhr beobachten läßt, nicht der Fall.

(10) Mittlere und wahre Sonne. Am 15. Mai z. B. ist die an der idealen Uhr abgelesene Kulminationszeit 11 Uhr 56 Minuten. Es fehlen also noch 4 Minuten bis 12 Uhr. Diesen Betrag nennen wir die „Zeitgleichung" für den betreffenden Tag und bezeichnen ihn als negativ, schreiben also -4^m, und wollen damit angeben, daß es bei Sonnenkulmination nicht 12 Uhr, sondern erst $12^h - 4^m$ ist. Am 27. Juli ist die Zeitgleichung $+6^m$. Dies bedeutet, daß es bei Sonnenkulmination $12^h + 6^m$ ist, wenn wir uns nach unserer Idealuhr richten. Statt Zeitgleichung sollte man besser Zeitausgleichung sagen. Sie ist positiv, wenn die Sonne „zu spät", und negativ, wenn sie „zu früh" kulminiert, immer wieder am Maßstab unserer idealen Uhr gemessen. — Wir besitzen nun eine solche ideale Uhr ebensowenig, wie es eine ideal laufende Sonne gibt, aber wir erdenken uns eine ebensolche Sonne, und nennen sie im Gegensatz zur wirklichen oder wahren die „mittlere Sonne" und stellen sie uns im Äquator laufend

vor. Es steht aber nichts im Wege, sie in ihrem Stundenkreis so hinauf- oder hinabzuschieben, daß sie jeweils im Parallel der wahren Sonne steht.

(11) Zeitgleichungskurve. In Bild 13 ist die wahre Sonne als heller Kreis, die mittlere als schwarzes Scheibchen gezeich-

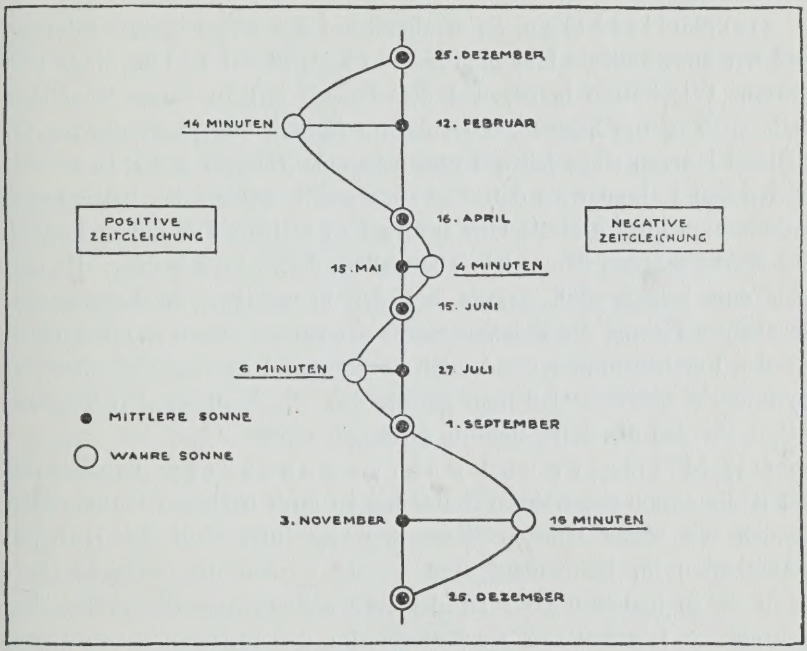


Bild 13. Zeitgleichungskurve. Wird beim Blick nach Süden das Blatt aufrecht gehalten und von links nach rechts bewegt, so ergibt sich die zeitliche Aufeinanderfolge des Meridiandurchganges für die mittlere und die wahre Sonne an beliebigen Tagen.

net. Die Tage sind vom 25. Dezember an von oben nach unten aufgetragen zu denken. Halten wir das Blatt gegen Süden, die Tageslinie vertikal, das ganze etwas links vor den Meridian, und schieben wir das Blatt langsam nach rechts, dann sehen wir, daß z. B. für den 12. Februar zuerst die mittlere Sonne, das schwarze Scheibchen, in den Meridian tritt, und dann erst nach 14 Minuten die wahre Sonne. Am 3. November geht, wenn wir unser „Instrument" von links nach rechts quer durch den Meridian schieben, zuerst die helle wahre Sonne durch den Meridian und erst 16 Minuten nachher kulminiert die schwarze mittlere Sonne, alles in Übereinstimmung mit der Wirk-

lichkeit an den betreffenden Tagen. Die Schlangenlinie gibt zeichnerisch die Zeitgleichungsbeträge für das ganze Jahr wieder. An den vier Tagen mit der Zeitgleichung Null, am 25. Dezember, 16. April, 15. Juni und 1. September fallen heller Kreis und schwarzer Punkt zusammen.

(12) Nullstellen. Es erscheint auf den ersten Blick sonderbar, daß wir unsere ideale Uhr gerade am 16. April auf 12 Uhr eingestellt hatten. Wir hätten in der Tat dies ebenso gut an einem beliebigen anderen Tag tun können, hätten dann freilich andere Werte für die Zeitgleichungen eines jeden Tages erhalten. Nehmen wir z. B. an, wir hätten den 1. Januar als den Tag auserwählt, an dem wir bei Sonnenkulmination unsere ideale Uhr auf 12 Uhr stellen. Die linken Lappen der Kurve würden dann kleiner ausfallen, die rechten größer. Es läßt sich nun zeigen, daß gerade bei der in unserer Zeichnung vorgesehenen Teilung die Flächensumme der beiden linken Lappen gleich ist der Flächensumme der beiden rechten und es war also eine Art Symmetriebedürfnis, daß man gerade den 16. April als den Tag annahm, für den die Zeitgleichung Null sein sollte.

(13) Mittlerer und wahrer Sonnentag. Die Zeit von der Kulmination der wahren Sonne bis zu ihrer nächsten Kulmination nennen wir einen wahren Sonnentag. So interessant die Unregelmäßigkeiten im Sonnenlauf sind — sie werden uns noch beschäftigen — so bedeutungslos ist der wahre Sonnentag als praktisches Zeitmaß. — Die Zeit von der Kulmination der mittleren Sonne bis zu ihrer nächsten Kulmination nennen wir einen mittleren Sonnentag oder einfach einen „Tag". Die mittleren Sonnentage sind sämtlich gleich lang, sie bestehen aus je 24 Stunden mittlerer Zeit, jede dieser Stunden aus 60 Minuten mittlerer Zeit, jede dieser Minuten aus 60 Sekunden mittlerer Zeit. Dies sind die wichtigsten Zeiteinheiten des Astronomen. Wenn nichts anderes gesagt wird, so verstehen wir unter Tag, Stunde, Minute, Sekunde immer diese „mittleren". Die wahren Sonnentage sind sämtlich verschieden lang und es ist deshalb zwecklos, einen wahren Sonnentag systematisch in Teile und Unterteile zu zerlegen. Ist es in einem bestimmten Augenblick, z. B. $13^h\ 26^m\ 40^s$ wahre Sonnenzeit, so bedeutet dies zunächst nur soviel, daß sich die wahre Sonne in dem ruhenden Stundenkreise $13^h\ 26^m\ 40^s$ befindet, sonst weiter nichts. Beträgt an diesem Tage die Zeitgleichung z. B. minus $2^m\ 17^s$, so rechnen wir

wahre Sonnenzeit	=	13^h	26^m	40^s
Zeitgleichung	=		-2^m	17^s
also mittlere Zeit	=	13^h	24^m	23^s

(14) Februar- und Novembersonne. Die größte positive Zeitgleichung, 14 Minuten, haben wir am 12. Februar (Bild 13). Die wahre Sonne ist zeitlich hinter der mittleren zurück. Beim Aufgang der mittleren Sonne ist die wahre Sonne noch unter dem Horizont. Ihr Aufgang verzögert sich gegen den der mittleren Sonne um rund eine Viertelstunde. Der Vormittag, die sonnenhelle Zeit von Sonnenaufgang bis zum mittleren Mittag, wird um eine Viertelstunde verkürzt. Ebenso ist der Nachmittag um eine Viertelstunde länger, „als er sein sollte". In Anbetracht der Kürze der hellen Nachmittage fällt dieser Betrag wohltuend ins Gewicht. — Am 3. November ist bei Aufgang der mittleren Sonne die wahre Sonne schon ein Stück über dem Horizont. Der Vormittag, von Sonnenaufgang gerechnet, ist um 16 Minuten „zu lang", der Nachmittag ebenso um 16 Minuten „zu kurz". Es wird an Novembertagen allzu zeitlich dunkel.

(15) Längster und kürzester wahrer Tag. Infolge der fortwährenden Änderungen der Zeitgleichung sind die wahren Sonnentage, d. h. die Zeiten von der einen Kulmination der Sonne bis zur nächsten, stets verschieden. Die größten täglichen Änderungen der Zeitgleichung erfolgen etwa vom 16. auf den 17. September und etwa vom 24. auf den 25. Dezember. Die wahre Sonne geht am 25. Dezember um 30 Sekunden später durch den Meridian als tags zuvor. Es dauert der wahre Sonnentag um diese Zeit also 24 Stunden plus 30 Sekunden. Es ist dies der längste wahre Sonnentag des ganzen Jahres. Die Behauptung, daß der „längste Tag des Jahres zur Zeit der kürzesten Tage eintrifft", klingt paradox, ist aber mit der Wirklichkeit zu belegen. Der „kürzeste Sonnentag", vom wahren Mittag des 16. bis zum wahren Mittag des 17. September gerechnet, ist 23 Stunden 59 Minuten und 39 Sekunden lang. — Die angeführten Daten sind, wie manche der später folgenden, veränderlich, also nur als Beispiele aufzufassen.

(16) Sonnenuhren. Ist uns für jeden Tag die Zeitgleichung bekannt, dann können wir auch die „mangelhaft gehende Sonne" dazu benützen, uns die richtige, die mittlere Zeit zu beschaffen. Denn auch jede „falsch" zeigende Taschenuhr ist in dem Moment

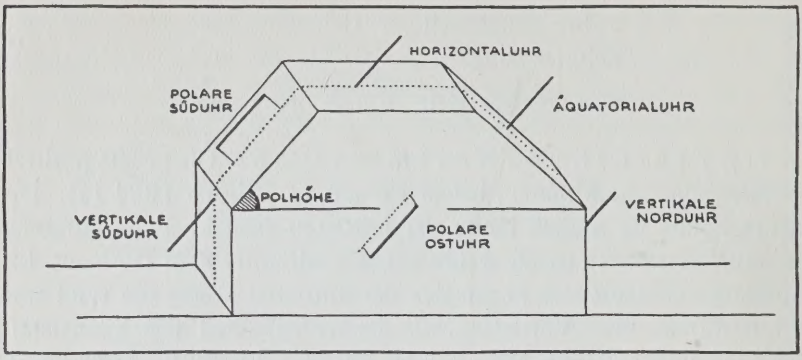


Bild 14. Sonnenuhren. Haus mit Plattform. Nord rechts. Das Norddach hat dieselbe Neigung wie der Himmelsäquator.

brauchbar, für den man ihren jeweiligen Fehler, Uhrstand genannt, kennt. — Ein Stab, der parallel zur Himmelsachse steht und einen Schatten wirft, wird so zur „Sonnenuhr". Stellen wir uns (Bild 14, Nord rechts) ein Modell vor, einen Block von der Form eines Hauses. Es seien lauter Stäbe, Stylusse, parallel zur Himmelsachse angebracht.

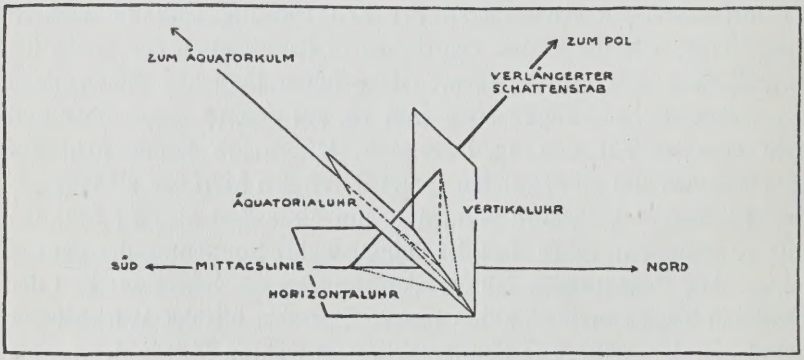


Bild 15. Konstruktion des Zifferblattes einer Sonnenuhr

Je nachdem, ob die den Stabschatten aufnehmende Ebene, das Zifferblatt der Sonnenuhr, zum Horizont, zum Zenit, zum Pol oder zum Äquator zeigt, unterscheidet man Horizontal-, Vertikal-, Polar- und Äquatorialuhren. — Das Süddach läuft im Modell parallel zur Himmelsachse. Der Stab wirft stets Schatten, die zu ihm parallel sind. Das nördliche Dach steht senkrecht zum südlichen, es liegt in der

Ebene des Himmelsäquators. Der Schatten des Stylus dreht sich in 24 Stunden um diesen herum, wirksam natürlich nur im Frühling und Sommer, während die Sonne über dem Äquator sich befindet. — An der vertikalen Südfront kann der Stabschatten gesehen werden, solange die Sonne südlich von der Ostwestebene, an der Nordwand, wenn die Sonne nördlich dieser Ebene steht. — Eine Ostuhr ist nur vormittag, eine Westuhr nur nachmittag ablesbar, während die Horizontaluhr auf der Plattform unseres Hausmodells von Sonnenaufgang bis zum Untergang zu benützen ist. — Am einfachsten läßt sich eine Äquatorialuhr erklären und demgemäß konstruieren (Bild 15). Ein zum Himmelspol weisender Stab, senkrecht durch eine beiderseits in 24 gleiche Teile geteilte Scheibe hindurchgesteckt, kann auch dann, wenn die Sonne unter dem Äquator wandelt, eben auf der unteren Fläche, die Stunden wahrer Sonnenzeit erkennen lassen. Da bei verschiedenen Zifferblattebenen die Schatten ein- und desselben Stabes sich in der in der Skizze veranschaulichten Art für jede Stunde in der Schnittlinie der Ebenen schneiden müssen, ist der Weg gegeben, eine Vertikaluhr auch dann zu konstruieren, d. h. ihr Zifferblatt richtig einzuteilen, wenn die Vertikalebene nicht in der Ostwestebene steht.

(17) Kegelschnitte. Bei der Äquatorialuhr zieht der Schatten des freien Stabendes im Verlauf des hellen Tages größere oder kleinere Kreise, je nachdem die Sonnenstrahlen unter einem flacheren oder steileren Winkel auftreffen, d. h. je nachdem die Sonne kleinere oder größere Deklination besitzt. Vertikal- wie Horizontaluhren zeigen verschiedene Schattenkurven. Wir beschreiben hier (Bild 16) die Bahnen, die sich bei einer Horizontaluhr ergeben und setzen — aber nur, um ein Gesamtbild aller nach ähnlichem Prinzip wie bei der Sonnenuhr konstruierten Linien zu geben — etwas Nichtwirkliches voraus, daß nämlich die Sonne an beliebigen Punkten des Himmels, auch z. B. in der Polgegend, ihre Tageskreise ziehen könnte. Die kräftig ausgezogene vertikale Stange soll einen Knopf tragen, dessen Schattenbild verfolgt werden soll. Der Knopf wird zur Mitte einer Himmelskugel. Jeder Parallelkreis der Sonne kann als Grundkreis eines geraden Kegels betrachtet werden, dessen Spitze im Knopf liegt. Die Sonnenstrahlen, die aus den verschiedensten Punkten eines bestimmten Parallelkreises im Verlauf von 24 Stunden kommen — im Bild sind nur Mittags- und einige Mitternachtsstände gezeichnet — bilden den Mantel eines Kegels, dessen Seiten wir über den Knopf hinaus

bis zum Boden — waagrechte Mittellinie im Bilde — verlängern. Wird dieser „verlängerte Kegel" nun von einer Ebene geschnitten — im Bild von dem im Grundriß gezeichneten Erdboden, auf dem der Stab steht — dann entstehen sogenannte Kegelschnittlinien, die wir

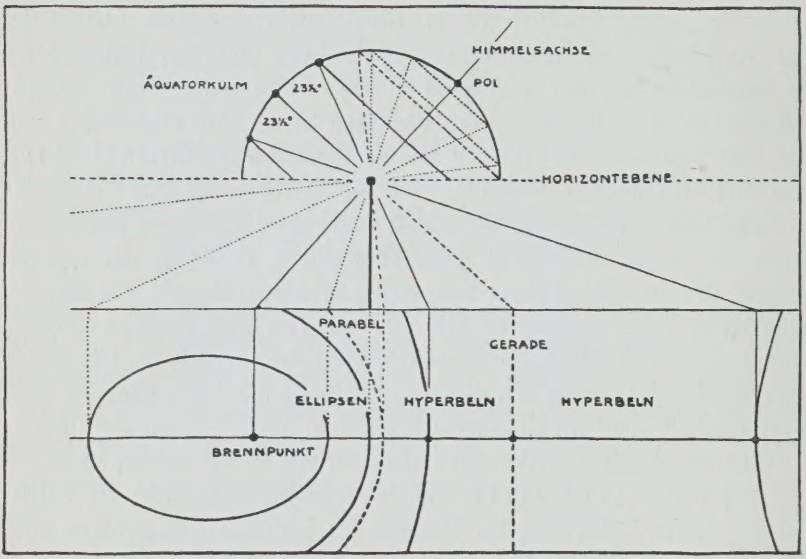


Bild 16. Kegelschnittslinien als Schattenkurven. Eine erdachte Sonne kreist selbst in unmittelbarer Polnähe. Zum gestrichelten Doppelkegel gehört die Parabel, zu jedem punktierten eine Ellipse, zum ausgezogenen Doppelkegel die Hyperbel.

in der Zeichnung als Punkt, Ellipsen, Parabel, Hyperbeln und Gerade angeführt sehen. Die verschiedenen Kegelschnittlinien werden uns noch im zweiten und dritten Teil unseres Buches ausgiebig beschäftigen. Bild 109 zeigt, wie man Kegelschnittlinien experimentell darstellen kann.

DRITTER ABSCHNITT
ROTIERENDER HIMMEL

Sieben Sternzüge / Kolurlinie / Gerade Linien / Deichsellinie / Doppeltrapez im Löwen / Großes Dreieck / Fünfsternreihe / Großes Sechseck um Orion / Rotierender Himmel / Doppelkugel / Polarstern um Pol / Ruhender und rotierender Äquator / Kolure / Rektaszensionssystem / Andere Koordinatensysteme / Sternzeit / Kolurstern als Zeitweiser / Frühlingspunkt als Zeitweiser / Jährliche Drehung / Doppelmechanismus / Sternzeit und mittlere Zeit / Sternzeit im mittleren Mittag / Siebzehneruhr

(1) Sieben Sternzüge. Wie die Sonne, so gehen auch die meisten Sterne auf und unter, bewegen sich jedenfalls alle um die Himmelsachse, behalten dabei ihre gegenseitige Stellung und ihre gegenseitige Winkelentfernung bei. Wir können uns deshalb durch Verbindungen von Stern zu Stern, wie beim Großen und Kleinen Wagen, bleibende Sternbilder zurechtlegen. Größere Figuren, besonders auch Verbindungslinien von Sternbild zu Sternbild wollen wir Sternzüge nennen. Von diesen kommen für unsere Gegend vor allem folgende sieben in Betracht: 1. Himmelswagen und Polarstern, 2. Kolurlinie, 3. Deichsellinie bis Spika, 4. Doppeltrapez im Löwen, 5. Großes Dreieck, 6. Fünfsternreihe, 7. Großes Sechseck um Orion. — Himmelswagen und Polarstern, schon früher beschrieben, sind in unserer Gegend stets zu sehen, ebenso wenigstens ein Teil der Kolurlinie. — Die Deichsellinie bis Spika und das Doppeltrapez des Löwen sind vor allem im Frühling und Sommer, das Große Dreieck im Sommer und Herbst, die Fünfsternreihe im Sommer, Herbst und Winter, das Große Sechseck um Orion besonders im Winter und Vorfrühling zu finden. Man könnte ohne weiteres die Milchstraße mit ihren hellen Sternen als achten großen Sternzug ansehen.

(2) Kolurlinie. Die fünf hellen Sterne der Kassiopeia bilden eine Zickzacklinie (Bilder 17, 21, 49). Der Stern, in dem wir gleichsam den Griffel von der Tafel abheben, wenn wir das „große W" geschrieben haben, heißt Beta. Wir nennen ihn den Kolurstern. Die Kolurlinie selbst (Bild 17) nimmt ihren Ausgang im Polarstern, geht

„gerade“ über den Kolurstern, dann durch den Stern Sirrah in der Andromeda. Vom Polarstern bis Kolurstern sind es 30 Grad, vom Kolurstern bis Sirrah wieder 30, und nun wird die Kolurlinie um

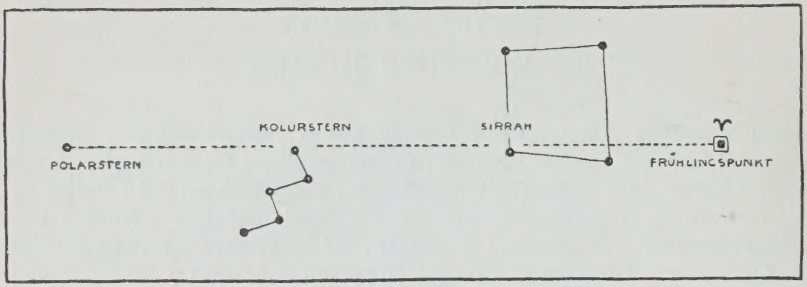


Bild 17. Kolurlinie. Das 90 Grad lange Stück Pol-Frühlingspunkt wird durch Kolurstern und Sirrah in drei gleiche Teile zu je 30 Grad geteilt.

weitere 30 Grad verlängert. Ihr Ende wird durch keinen besonderen Stern gekennzeichnet. Man muß sich ein- für allemal — jeder so gut er kann — diesen Endpunkt merken. Er führt den Namen Widderpunkt oder Frühlingspunkt. Sein Symbol ist im Bild wiedergegeben. Es stellt Widderhörner dar. — Die Kolurlinie geht nicht genau durch Sirrah, sie schneidet einen schmalen Streifen eines quadratähnlichen Viereckes ab, das aus Sirrah, Algenib, Markab und Scheat aufgebaut ist und das Quadrat im Pegasus genannt wird. Über den Polarstern zurück „geradeaus“ verlängert, trifft die Kolurlinie auf Megrez im Himmelswagen.

(3) Gerade Linien. Der Himmel ist als Kugelfläche ein allseits gekrümmtes Gebilde. Gerade Linien im gewöhnlichen Sinne verstehen sich, über ein kleines Himmelsstück, etwa als Verbindungsstrecken der Kassiopeiasterne, von selbst. Anders verhält es sich mit längeren Strecken. Steht z. B. die Kolurlinie oberhalb des Nordosthorizontes, so erscheint sie auf den ersten unbefangenen Blick deutlich als Bogen. Um sie als Gerade zu sehen, müssen wir, auf ihre Mitte blickend, unser Gesicht so halten, daß die Gesichtsfläche senkrecht zur Blickrichtung steht. Der Versuch gelingt, weil das betrachtete Bogenstück Teil eines größten Kreises der Himmelskugel ist und jeder größte Kreis mit der Kugelmitte, also in diesem Falle mit dem sehenden Auge, in einer Ebene liegt. Wir wollen Verbindungen auf dem Wege größter Kugelkreise „gerade“ Linien heißen, mit oder ohne Anführungszeichen, oder, vielleicht noch besser, „geradeste“ Linien.

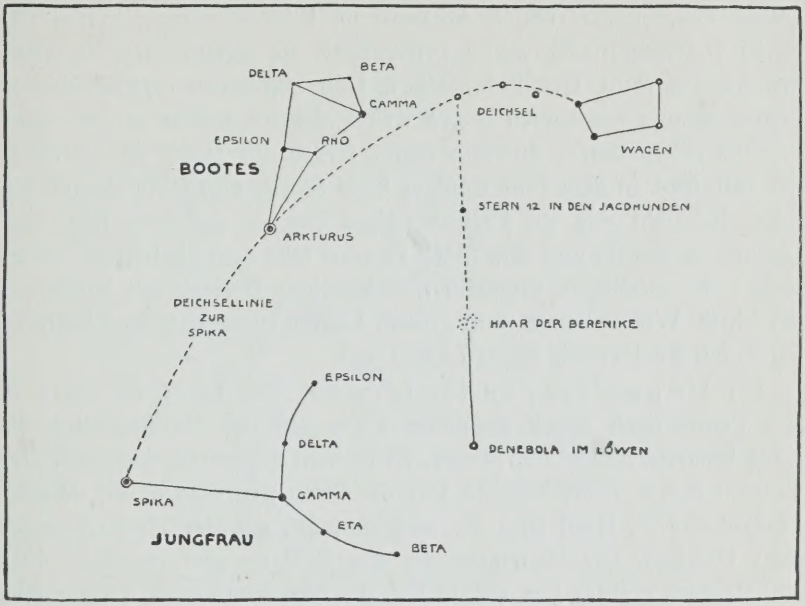


Bild 18. Deichsellinie bis Spika

(4) Deichsellinie. Steht der Himmelswagen recht hoch, dann können wir die Deichselsterne mit einem leicht gekrümmten Bogen verbinden. Wir verlängern ihn mit dem ihm gegebenen Schwung über Benetnasch hinaus und treffen so auf einen Stern erster

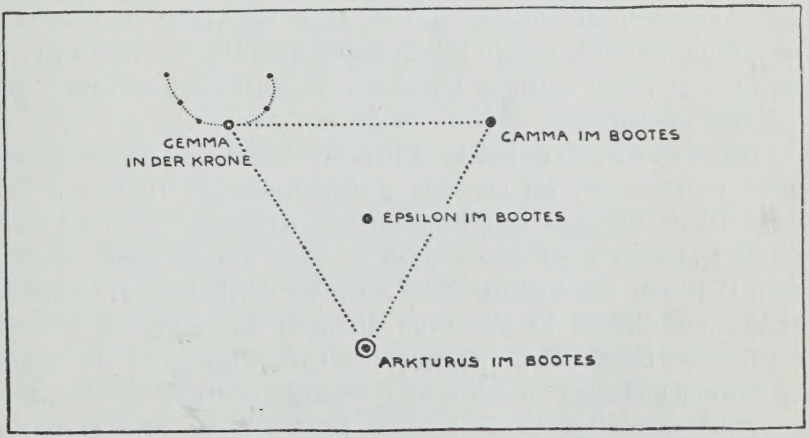


Bild 19. Ptolemäisches Dreieck

Größe, den orangefarbenen Arkturus im Bilde des Bootes (Bild 18). Er ist von Benetnasch weiter entfernt, als die Gesamtlänge des Himmelswagens samt Deichsel beträgt. Den begonnenen parabolischen, immer gerader werdenden Bogen weiter ziehend, treffen wir auf einen zweiten hellen Stern, ebenfalls erster Größe, die Spika im Sternbilde der Jungfrau, in dem fünf weniger helle Sterne einen Spitzbogen formen. Er sieht wie ein Perlenhalsband aus. — Arkturus bildet mit Gamma im Bootes und dem Stern Gemma oder dem „Edelstein" in der Krone ein auffälliges, ungefähr gleichseitiges Dreieck mit Epsilon in der Mitte. Wir wollen es dem großen Lehrer Ptolemäus zu Ehren das Ptolemäische Dreieck nennen (Bild 19).

(5) Doppeltrapez im Löwen. Der Löwe (Bild 71) ist eine geometrisch scharf definierte Figur auf der Verlängerung der Linie Polarstern - Dubhe - Merak. Er besteht aus einem 8 Grad breiten Trapez, dessen obere kürzere Parallelseite 13, dessen untere längere Parallelseite 25 Grad lang ist, etwa so lang, wie der Himmelswagen samt Deichsel. Die Endsterne der langen Seite sind Denebola links und Regulus rechts. Das rechte Eck der kürzeren oberen Parallelseite ist gleichzeitig ein Eckstern eines kleineren Trapezes, das, in Gestalt ähnlich dem größeren, etwa so lang ist, wie das große Trapez breit. Die obere kleine Parallelseite des großen Trapezes kann als Rückenlinie, das kleine Viereck als Kopf des Löwen angesehen werden. Bei Regulus und Denebola sind die Vorder- und Hinterpranken zu denken (Bild 60). „Oben" und „unten" sollen, wie im gewöhnlichen Sprachgebrauch, die Beziehung zum Zenit beinhalten. Bei der Beschreibung von Sternfiguren kann, ohne daß ein Mißverständnis zu befürchten ist, „oben" auch im Sinne von „dem Himmelspol näher" angewandt werden.

(6) Großes Dreieck. Über der Strecke Polarstern-Benetnasch errichten wir ein ungefähr gleichschenkeliges Dreieck in der dem Himmelswagen entgegengesetzten Richtung. Die Schenkel dieses Dreieckes seien etwa doppelt so lang, wie der ganze Wagen samt Deichsel. Der weitaus hellste Stern der durch dieses Hilfsdreieck bestimmten Gegend ist Wega im Sternbild der Leier, ein intensiv leuchtender, bläulichweißer Stern erster Größe. Er bildet mit Deneb im Schwan und Atair im Adler, beide ebenfalls erster Größe, das nahezu gleichschenkelige Große Dreieck (Bild 20). Es wird auch das sommerliche Dreieck genannt, weil es in den Sommernächten kulmi-

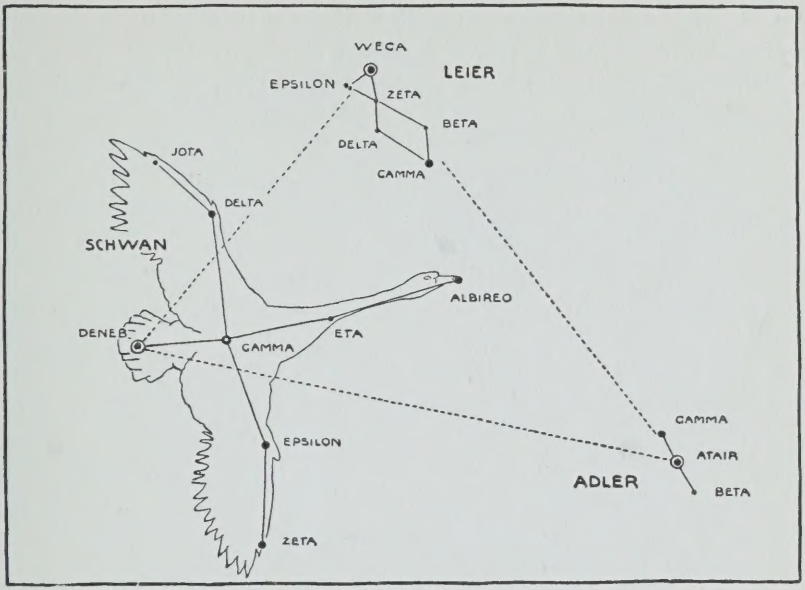


Bild 20. Großes Dreieck: Wega-Deneb-Atair. Epsilon in der Leier auch mit freiem Auge als Doppelstern erkennbar

niert. Es steht im Frühling im Osten, im Herbst im Westen. Ein fliegender oder auf dem Wasser plätschernder Schwan kann ohne viel Phantasie aus den wenigen Sternen herausgelesen werden. Albireo ist der Kopf-, Deneb der Schwanzstern. Ohne die Flügelspitzen erscheint das Bild als Kreuz. In der Leier kann das Rhomboid den saitenbespannten Teil, Zeta den Hals und Wega und der doppelte Stern Epsilon die oberen Enden der Leier bedeuten. Im Adler dürfen wir Atair als Kopf und Rumpf, die beiden anderen Sterne als Flügelspitzen ansehen. Die Umrisse in Bild 51 schließen auch weitere helle Sterne des Adlers ein.

(7) Fünfsternreihe. Die Fünfsternreihe (Bild 21) ist hohl gegen Kassiopeia und schneidet die Kolurlinie in Sirrah etwa rechtwinkelig. Die am Himmel bestehenden Figuren werden je nach der Art der bildlichen Wiedergabe verzerrt, so daß unsere Sternbildzeichnungen stets mit dem Himmel selbst unmittelbar verglichen werden sollten. — Die Sterne der Fünfsternreihe folgen der Reihe nach in gleichen Abständen voneinander und haben etwa dieselbe Helligkeit. Wer Sinn für Gedächtnisstützen hat, für den stehen

am Anfang der Reihe **A**lgenib und **A**lamak, in der **M**itte **M**irrach, während den **S**chluß **S**irrah und **S**cheat bilden. — Pegasus, das geflügelte Roß der Dichtkunst, erscheint verkehrt. Das Quadrat bil-

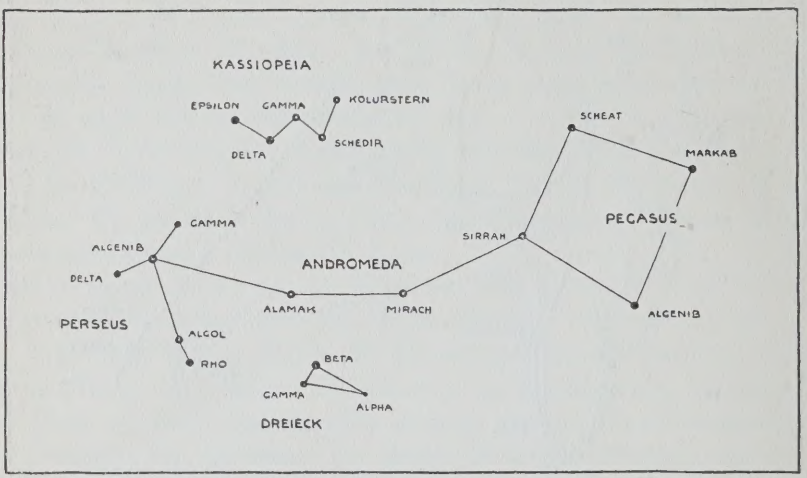
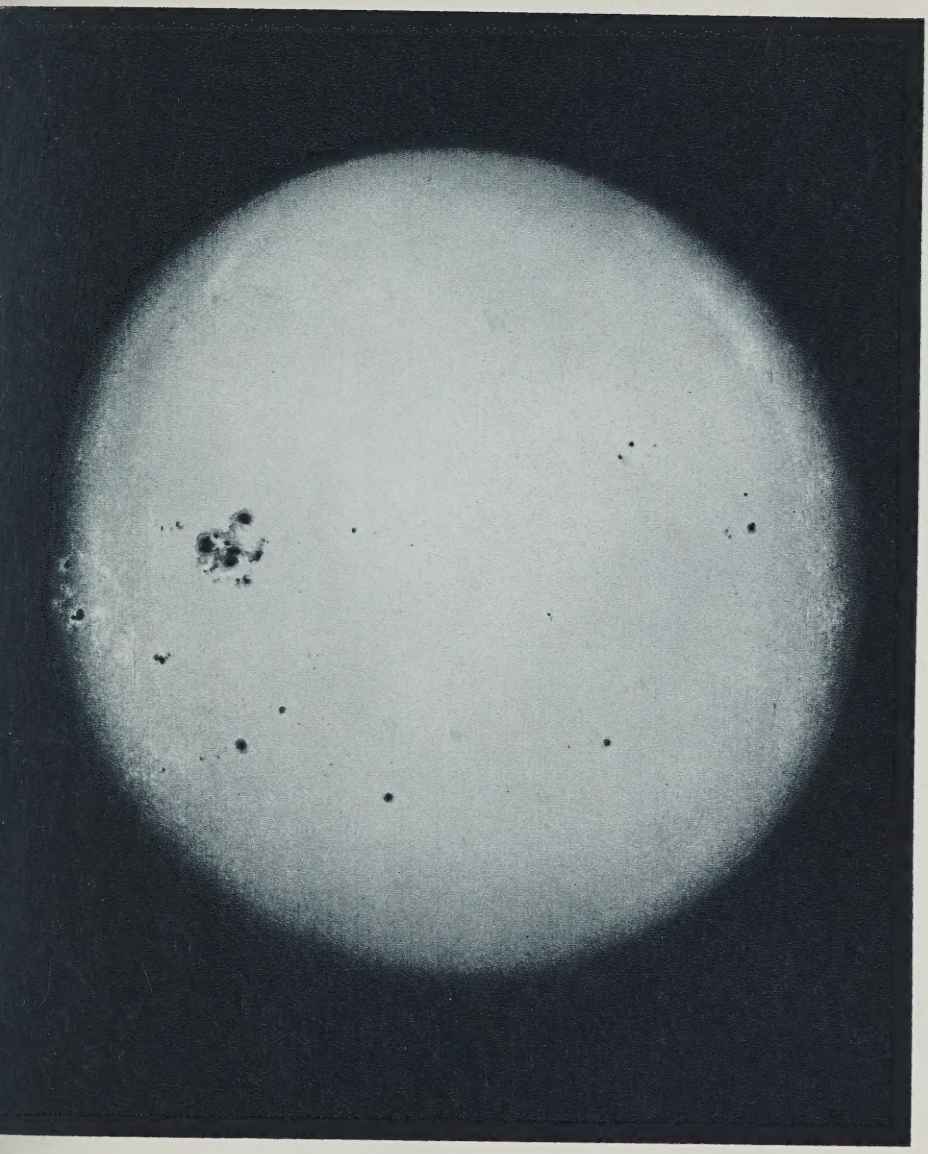


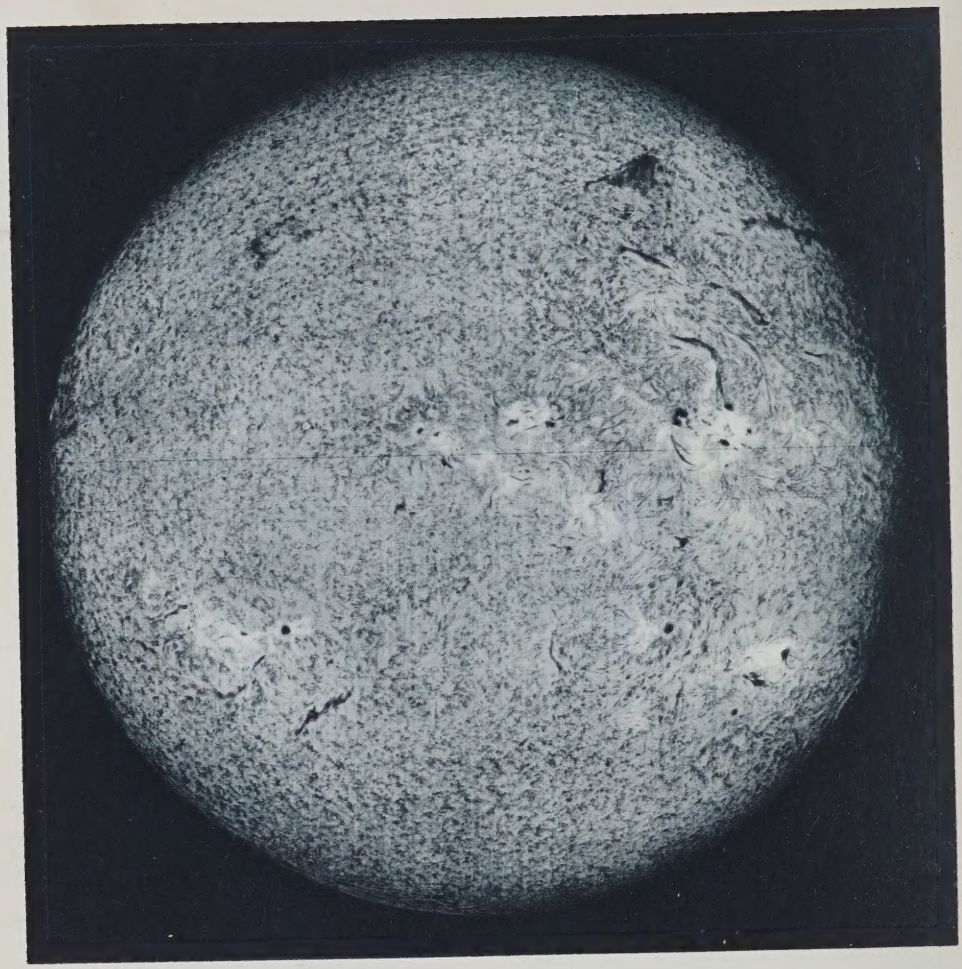
Bild 21. Fünfsternreihe: Perseus-Andromeda-Pegasus

det den Rumpf, ein anschließender geknickter Zug Hals und Kopf des Pferdes (Bild 43). Im Bild der Andromeda ist mit freiem Auge ein berühmtes Gebilde zu erkennen, der Andromedanebel (Bildtafel XXVI). Von Perseus sind nur wenige Sterne hier angegeben. Bild 194 zeigt die übrigen. Algol fällt durch die Veränderlichkeit seines Lichtes auf. Das ganze Sternbild ist bekannt durch die Sternschnuppen, die es jährlich im August aussendet. Über der Fünfsternreihe steht Kassiopeia, unter ihr das Sternbild des Dreiecks, eine unscheinbare Figur, mit dem großen Dreieck Wega - Deneb - Atair nicht zu verwechseln.

(8) Großes Sechseck um Orion. Es verbindet (Bild 22) sechs Sterne erster Größe miteinander: Kapella, Pollux, Prokyon, Sirius, Rigel und Aldebaran. Kapella kann mit Hilfe der Linie Merak-Dubhe-Polarstern aufgesucht werden. Wir errichten zu ihr im Polarstern nach der der Deichsel entgegengesetzten Seite eine Normale, auf der, etwa 45 Grad vom Polarstern entfernt, Kapella liegt, der Hauptstern im Bilde des Fuhrmannes. Den eben angegebenen Zug „gerade" fortsetzend, finden wir den weißen Stern Rigel im Orion. Zwei Rauten (Bild 23) verbinden ornamental die hellsten Orionsterne mit



Sonnenball (Yerkessternwarte)



Spektroheliographische Sonnenaufnahme (Mount Wilsonsternwarte)

TAFEL III

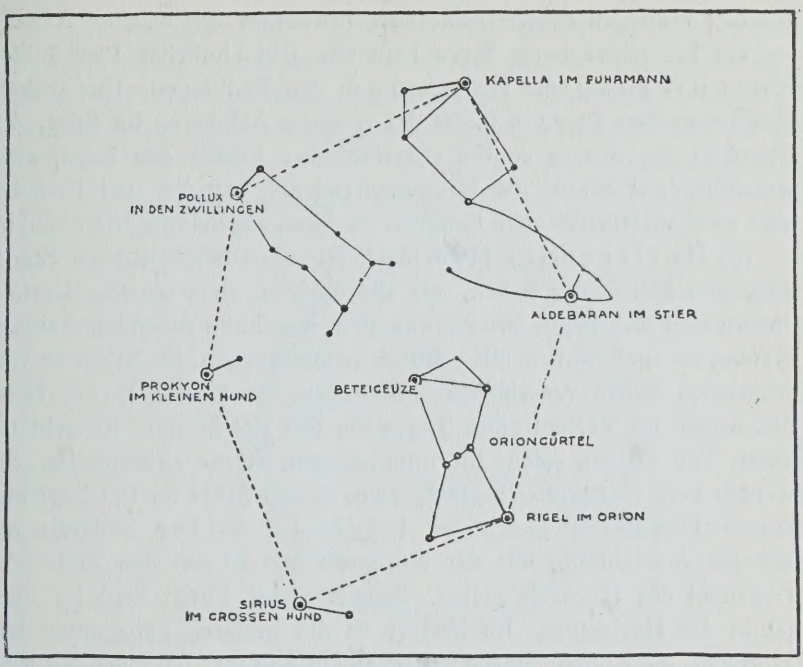


Bild 22. Großes Sechseck um Orion. Alle Ecksterne und Beteigeuze sind erster Größe. Konturen zu Orion in Bild 50

denen im Großen Hund und im Stier. Sirius liegt ungefähr auf der Verlängerung der durch die drei Gürtelsterne gegebenen Linie. Errichten wir in Sirius ungefähr eine Normale zur Linie Sirius-Gürtel, nach der Seite des Himmelswagens zu, so treffen wir auf Prokyon im

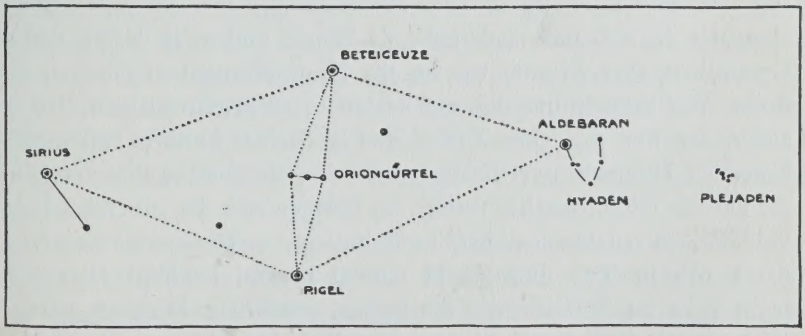


Bild 23. Rauten um Orion und Oriongürtel. Sirius-Beteigeuze-Rigel-Aldebaran bilden ein großes N.

Kleinen Hund, in dessen Nähe sich, etwa fünf Grad gegen Kapella zu, ein lichtschwächerer Stern befindet. Ein ähnliches Paar bilden Kastor und Pollux, die Hauptsterne in den Zwillingen. Das sechste Eck im großen Polygon bildet der rotgelbe Aldebaran im Stier. Im Sternbild des Stieres deuten ein römischer Fünfer den Kopf, zwei weitabliegende Sterne die Hörnerspitzen an. Hyaden und Plejaden sind zwei auffallende enge Gruppen im Stier, sogenannte Sternhaufen.

(9) Rotierender Himmel. Die eben beschriebenen Sternzüge und Sternbilder haben, wie alle übrigen, stets dieselbe Gestalt, ändern aber ihre Lage, ihre Koordinaten, sowohl im ruhenden Azimutsystem, als auch im ruhenden Stundenwinkelsystem. Sie haben zu verschiedenen Zeiten verschiedene Stellungen. So läuft z. B. der Himmelswagen im Verlauf eines Tages um den Pol herum. Er geht nie unter. Wir nennen solche nie untergehende Sterne zirkumpolar. Sie werden vom Nordkreis eingeschlossen, dessen Mitte im Pol liegt und dessen Halbmesser gleich der Polhöhe ist. — Der Südkreis hat dieselbe Ausdehnung wie der Nordkreis und ist um den Süd- oder Gegenpol des Himmels gelegt. Sein höchster Punkt liegt im Südpunkt des Horizontes. Im übrigen ist der Südkreis ganz unter dem Horizont. — Andere Sterne gehen auf und unter. Wir nennen hier, wie bei der Sonne, Tagbogen den über, Nachtbogen den unter dem Horizont liegenden Teil ihrer Bahn. Was beim täglichen Lauf der Sonne nur annähernd zutrifft, gilt für die Sterne genau: ihre täglichen Bahnen kehren in sich zurück, sind also geschlossene Kreise. Atair z. B. geht jahraus, jahrein an derselben Stelle auf, bleibt also stets im gleichen Parallel. Die Sterne vollführen im Verlaufe eines Tages sämtlich eine Drehung um die Himmelsachse im selben Richtungssinn, wie die auf- und niedergehende Sonne, und zwar derart, daß die Gesamtheit aller Sterne, wie an die Himmelskugel angeheftet, sich dreht. Wir können uns dies am besten so vergegenwärtigen, daß wir außer der nur gedachte Kreise und gedachte Punkte enthaltenden ruhenden Himmelskugel noch eine zweite, sternbesäte uns vorstellen, die um die Himmelsachse rotiert, im übrigen sich der ruhenden Kugel vollkommen reibungslos überall anschmiegt. — Die sternbesäte Kugel dreht sich in Tag und Nacht einmal herum, benötigt aber hiezu nicht volle 24 Stunden wie die Sonne, sondern 4 Minuten weniger. Wir nennen die Zeitdauer dieses einmaligen Umschwungs des Sternenhimmels einen Sterntag. Er dauert 23 Stunden 56 Minuten.

(10) Doppelkugel. In Bild 24 sei der untere nichtschraffierte Teil ein fester eiserner Block, der mit dem ebenfalls aus Eisen konstruierten und durch ein Stück „Himmelsachse" fest verbundenen ruhenden Horizont und ruhenden Äquator das gesamte ruhende Azimutsystem

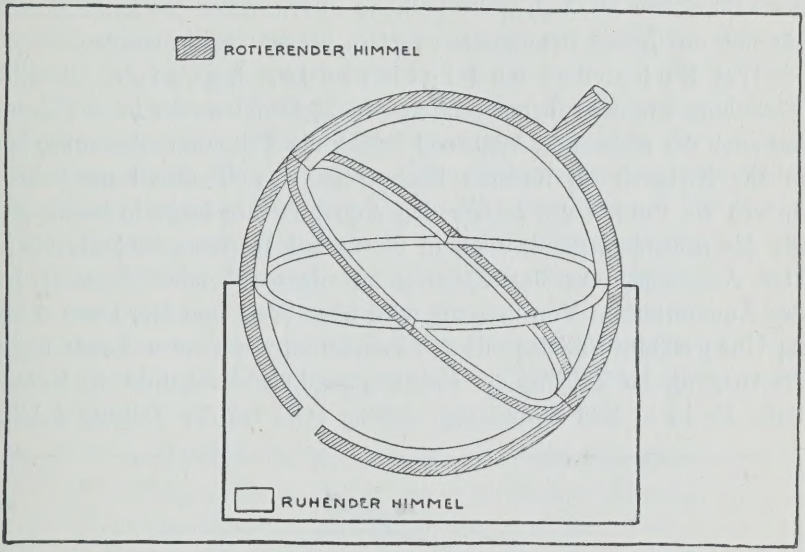


Bild 24. Modell zur Veranschaulichung der ruhenden und der rotierenden Himmelskugel. Der waagrechte Ring ist der Horizont. Am oberen Griff wird gedreht.

und das gesamte ruhende Stundenwinkelsystem versinnbildlichen soll. Um diese eiserne, nicht schraffiert gezeichnete Kugel ist eine messingene, schraffierte, gelegt zu denken, an deren innerer Fläche sich die Sternbilder befinden. Drehen wir die schraffierte Messingkugel am oberen Griff in der Richtung der auf- und untergehenden Sonne, also so, daß vorne, im Osten, die Sterne sich über den Horizont erheben, dann veranschaulichen wir den rotierenden Himmel im Gegensatz zum ruhenden, der als Bezugsystem nach wie vor seine Bedeutung beibehält.

(11) Polarstern um Pol. Eine gewisse Sonderstellung nimmt beim Umschwung um die Himmelsachse der Polarstern ein. Er ist für jede erste Umschau wirklich der Polstern, der sich sozusagen nur um sich selbst zu drehen brauchte. Aber bei genauem Zusehen beschreibt er im Verlauf eines Sterntages selbst einen ganz ansehnlichen

Kreis um den Pol, dessen Durchmesser mehr als zwei Grad ausmacht. Bestimmen wir bei der unteren Kulmination des Polarsternes dessen Höhe, dann dessen Höhe bei oberer Kulmination, dann liegt die eigentliche Polhöhe zwischen diesen beiden Werten. Es ist dies eine der zahlreichen Methoden, die Polhöhe zu ermitteln. Sie kann grundsätzlich mit jedem zirkumpolaren Stern vorgenommen werden.

(12) Ruhender und rotierender Äquator. Dieselbe Einteilung wie der ruhende Äquator, in 24 Stunden oder in 360 Grad, hat auch der rotierende. Während jedoch die Teilpunkte des ruhenden in alle Ewigkeit für unseren Beobachtungsort dieselbe Lage haben, ändern die Punkte des rotierenden Äquators ihre Lage in bezug auf die des ruhenden, damit auch in bezug auf Horizont und Meridian. Der Ausgangspunkt der Zählung auf dem ruhenden Äquator ist der Äquatorkulm. Von ihm aus wird über West und Nord von 0 bis 24 Uhr gezählt. Für den mit den Sternen mitrotierenden Äquator gilt als Ausgang der Zählung der Frühlingspunkt im Endpunkt der Kolurlinie. Er ist in Bild 25 beliebig, zufällig etwa bei der Teilung 5 Uhr

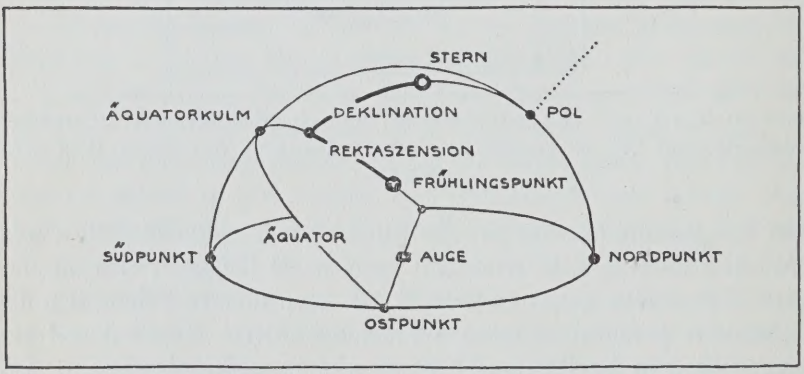


Bild 25. Bestimmung eines Sternortes am rotierenden Himmel. Rektaszension (gerade Aufsteigung) und Deklination (Abweichung).

des ruhenden Äquators angenommen. Die Zählung auf dem rotierenden Äquator läuft entgegengesetzt der Zählung auf dem ruhenden Äquator. Blicken wir gegen Süden, dann läuft die Zählung auf dem ruhenden Äquator von links nach rechts — wir sprechen von retrograder oder rückläufiger Zählung — auf dem rotierenden Äquator von rechts nach links — rechtläufige Zählung. Der Frühlingspunkt und alle übrigen Punkte des rotierenden Äquators müssen im Verlauf eines

Sterntages alle Teilpunkte des ruhenden Äquators überschreiten.

(13) Kolure. Auch jedem ruhenden Parallelkreis entspricht ein auf ihm entlanggleitender, rotierender Parallelkreis. Es gibt ruhende und rotierende Parallelkreise von der Deklination 10 Grad, 20 Grad usw., insbesondere auch ruhende und rotierende Wendekreise. Auf der rotierenden Kugel nennen wir die Halbkreise von Pol zu Pol im Gegensatz zu denen auf der ruhenden die rotierenden Stundenkreise. Während die rotierenden Parallelkreise sich mit den ruhenden immer decken, über ihnen so dahingleiten, daß sie stets nur gemeinsame Punkte haben, verschieben sich die rotierenden Stundenkreise ohne Unterlaß gegen die ruhenden. — Wenn der Frühlingspunkt kulminiert, fällt der Nullkreis des rotierenden Systems mit dem Null Uhr-Kreis des ruhenden, dem oberen Meridian zusammen, dann deckt sich der 1 Uhr-Kreis des rotierenden Systems, östlich vom Meridian mit dem 23 Uhr-Kreis des ruhenden Systems usw. Von den rotierenden Stunden- oder Uhrkreisen, Halbkreisen, sind vier ausgezeichnet:

0 Uhr-Kreis = Kolur der Frühlingsnachtgleiche,
6 Uhr-Kreis = Kolur der Sommersonnenwende,
12 Uhr-Kreis = Kolur der Herbstnachtgleiche,
18 Uhr-Kreis = Kolur der Wintersonnenwende.

Der erste und dritte heißen zusammen als ganzer Kreis Äquinoktialkolur oder Kolur der Nachtgleichen, der zweite und vierte zusammen Solstitialkolur oder Kolur der Sonnenwenden. Wir werden, schon um die Wichtigkeit des die Kolure umfassenden Gradnetzes zu betonen, den rotierenden Himmel gelegentlich auch Kolurhimmel oder Kolursphäre nennen.

(14) Rektaszensionssystem. Die beiden Systeme 1) des Azimutes und der Höhe, 2) des Stundenwinkels und der Deklination bleiben für unseren Beobachtungsort stets dieselben, da sie mit unserem Horizont starr verbunden sind. Wir können so von unserem Beobachtungsort aus auch Azimut und Höhe oder Stundenwinkel und Deklination einer fernen Bergspitze angeben, ohne daß sich diese Koordinaten je ändern, da der Berg mit unserem Beobachtungsort eben starr verbunden ist. Wenn wir jedoch für einen Augenblick entweder Azimut und Höhe oder Stundenwinkel und Deklination für den Stern Arkturus angegeben haben, so sind diese Koordinaten im nächsten

Augenblick schon nicht gültig, da sich Arkturus mit dem rotierenden Himmel mitdreht. Die Deklination bleibt zwar dieselbe, der Stundenwinkel aber ändert sich, ebenso Azimut und Höhe. — Verlegen wir die Ausgangslinien der Koordinaten unter die Sterne, also auf den rotierenden Himmel, dann erhalten wir ein mitrotierendes, unter den Sternen verankertes Netz, das „System der Rektaszension". — Der Ursprung dieses Systems ist der Frühlingspunkt. Wir ziehen durch den zu bestimmenden Stern am rotierenden Himmel dessen rotierenden Stundenkreis. Sein Stück vom Stern bis zum Äquator ist die Deklination des Sternes (Bild 25). Das Äquatorstück vom Frühlingspunkt bis zum rotierenden Stundenkreis des Sternes, rechtläufig gezählt, ist die Rektaszension des Sternes. Sie wird von 0 bis 24 Stunden, oder von 0 bis 360 Grad gezählt. Zu jedem Punkt und zu jedem Stern des rotierenden Himmels gehört eine bestimmte Rektaszension und eine bestimmte Deklination, welch letztere ebenso definiert wird, wie die am ruhenden Himmel. Um den Ort eines Sternes anzugeben, bedienen wir uns eines Zahlenbildes von der Art (6·41 - 17). Dies bedeutet: Rektaszension 6^h 41^m und Deklination 17^0 südlich. Der Punkt im Klammerausdruck bedeutet hier kein Dezimalzeichen. Er trennt nur Minuten von Stunden.

(15) Andere Koordinatensysteme. Außer den drei beschriebenen Systemen, dem ruhenden Azimutsystem, dem ruhenden Stundenwinkelsystem und dem rotierenden Rektaszensionssystem sind noch zwei weitere im Gebrauch: das rotierende Ekliptiksystem, das uns im nächsten Abschnitt ausgiebig beschäftigen wird, und das mit dem Zug der Milchstraße zusammenhängende galaktische System. — Galaxis ist der griechische Name für die Milchstraße. Ein größter Kugelkreis wird derart durch den hellsten Streifen der Milchstraße gelegt, daß er deren Verlauf möglichst gut festlegt. Dieser Kreis ist der galaktische Äquator. Sein Pol liegt im Haar der Berenike. — Als Nullpunkt des so entstehenden, mit dem Kolurhimmel mitrotierenden Koordinatensystems wird der im Adler befindliche Schnittpunkt des galaktischen Äquators mit dem Himmelsäquator angenommen (18·40 + 00). Galaktische Breite ist der Winkel oder Bogenabstand eines Sternes vom galaktischen Äquator, positiv oder negativ, d. h. nördlich oder südlich gerechnet und in Graden gezählt. Galaktische Länge ist das auf dem galaktischen Äquator gemessene Stück vom galaktischen Nullpunkt bis zum Schnittpunkt des galaktischen

Äquators mit dem vom Stern auf ihn senkrecht gezogenen größten Kugelkreis. Die Zählung erfolgt rechtläufig. — Die Tabelle hier gibt eine Übersicht über alle fünf Koordinatensysteme.

Übersichtstafel: Koordinatensysteme

System Grundkreis Grundkreispol	Ausgangspunkt (Richtung der Zählung)	Koordinaten
Ruhender Himmel		
I. Azimutsystem Horizont Zenit	Südpunkt (über Westpunkt)	Azimut Höhe
II. Stundenwinkelsystem Ruhender Äquator Pol	Äquatorkulm (über Westpunkt)	Stundenwinkel Deklination
Rotierender Himmel		
III. Rektaszensionssystem Rotierender Äquator Pol	Frühlingspunkt (über 6 Uhr-Punkt)	Rektaszension Deklination
IV. Ekliptiksystem Ekliptik Ekliptikpol	Frühlingspunkt (über Sommerpunkt)	Ekliptiklänge Ekliptikbreite
V. Galaktisches System Galaktischer Äquator Galaktischer Pol	Äquatorpunkt im Adler (über Kassiopeia)	Galaktische Länge Galaktische Breite

(16) Sternzeit. Seinen Umschwung um die Himmelsachse vollführt ein Stern im Verlauf eines Sterntages, der um vier Minuten kürzer ist als ein mittlerer Sonnentag. Dabei kulminiert er zweimal, oben und unten. Bei Zirkumpolarsternen, z. B. beim Kolurstern in der Kassiopeia, finden beide Kulminationen oberhalb des Horizontes statt, bei Sternen zwischen Nord- und Südkreis nur die obere. Sprechen wir von Kulmination schlechtweg, so ist, wie bei der Sonne, immer die obere gemeint. — Teilen wir einen Sterntag in 24 gleiche

Teile, so nennen wir einen solchen Teil eine Sternzeitstunde. Eine Sternzeitstunde teilen wir in 60 Sternzeitminuten, eine Sternzeitminute in 60 Sternzeitsekunden. All diese Zeitteile sind etwas kürzer als die entsprechenden Einheiten der mittleren Sonnenzeit. Unter den Himmelstafeln (Seite 130, 131) finden sich auch zwei für entsprechende Umrechnungen.

(17) Kolurstern als Zeitweiser. Der Sternenhimmel dreht sich mit idealer Gleichmäßigkeit. Wir benützen sie, um Zeitlängen zu messen, Uhren zu kontrollieren und Zeitmomente festzulegen. Wir könnten jeden Stern als Spitze eines Zeigers auffassen, der sich um die Himmelsachse oder um den Pol dreht. Wir stellen uns z. B. um den Pol herum (Bild 26) ein 24teiliges Zifferblatt vor, oben

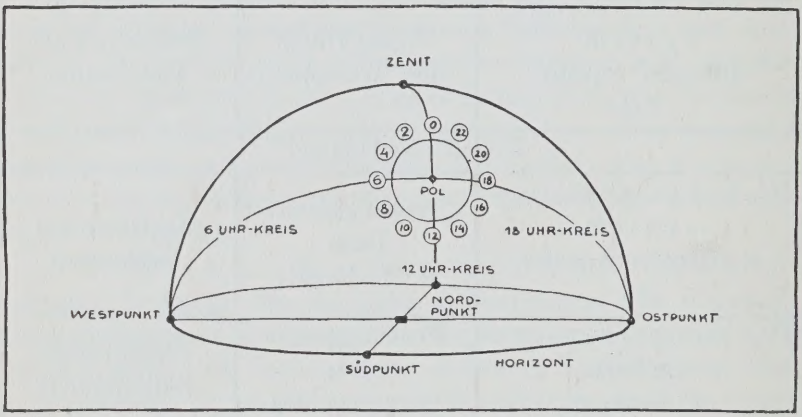


Bild 26. Ewige Uhr. Ein Zifferblatt um den Pol. Der Kolurstern ist Zeigerspitze.

24 oder 0, links 6, unten 12, rechts die Ziffer 18 führend. Aus guten Gründen wählen wir zunächst den Kolurstern als Zeigerspitze. Er zeigt auf diesem großen Zifferblatt 0, 1, 2 usw. Sternzeit. Bei einiger Übung wird man nicht nur die einzelnen Stunden, sondern auch die Viertelstunden schätzen können; dabei ist vorausgesetzt, daß wir stets „senkrecht" zum Pol blicken müssen, da wir sonst starken perspektivischen Täuschungen ausgesetzt sind. Es kann so mit Hilfe entsprechender Geräte jeder Augenblick in Sternzeit ausgedrückt werden. — Jeder Moment Sternzeit bestimmt automatisch und eindeutig eine bestimmte augenblickliche Stellung der rotierenden Himmelskugel.

(18) Frühlingspunkt als Zeitweiser. Verlängern wir

unseren eben konstruierten Himmelszeiger, wie in Bild 27, um seine doppelte Länge, so treffen wir auf den Frühlingspunkt. Wir können diesen als eine neue Spitze des über den Kolurstern stark bis zur Ausdehnung eines Viertelkreises verlängerten krummen Zeigers der vorhin beschriebenen Sternuhr betrachten. Es steht nichts im Wege, statt dieses gekrümmten Zeigers die gerade Linie Auge-Frühlingspunkt zu nehmen. Der ruhende Äquator wird dadurch zum Zifferblatt

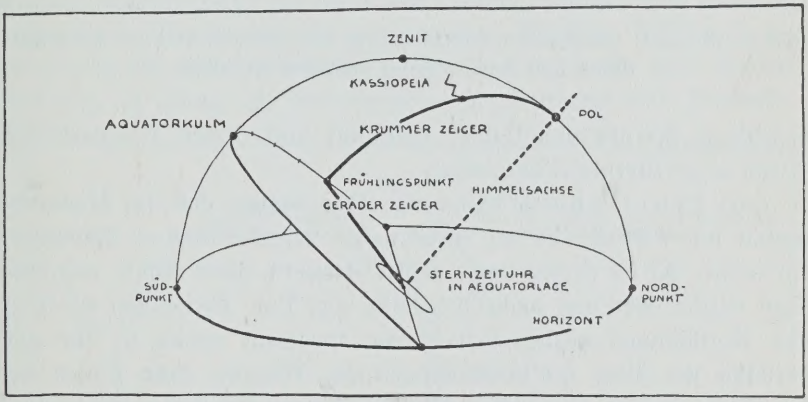


Bild 27. Kolurstern in der Kassiopeia, sowie Frühlingspunkt, als miteinander verbundene Zeitweiser

und wir selbst stehen in der Mitte desselben. Die früher angeführte Teilung des ruhenden Äquators benützen wir auch jetzt als Zifferblatteilung. Kulminiert der Frühlingspunkt im Süden, so ist es 0 Uhr Sternzeit, geht er unter, 6 Uhr, kulminiert er unten, 12 Uhr, geht er auf, 18 Uhr Sternzeit. Nach dem Stand des Frühlingspunktes, auf den man aus dem Stand eines jeden anderen beliebigen Himmelspunktes oder Sternes schließen kann, kontrolliert man auf den Sternwarten Uhren, die „nach Sternzeit" gehen, sogenannte Sternzeituhren. Diese Tätigkeit nennt man Zeitbestimmung. Im Grunde genommen ist schon eine Ablesung mit Hilfe des Kolursternes eine regelrechte Zeitbestimmung. Für Rektaszension, Stundenwinkel und Sternzeit ergibt Bild 28 folgenden Zusammenhang:

Rektaszension plus Stundenwinkel = Sternzeit.

Die Regel gilt für alle Sterne, auch die außerhalb des Äquators, und gestattet eine Zeitkontrolle, wenn man den Stundenwinkel eines

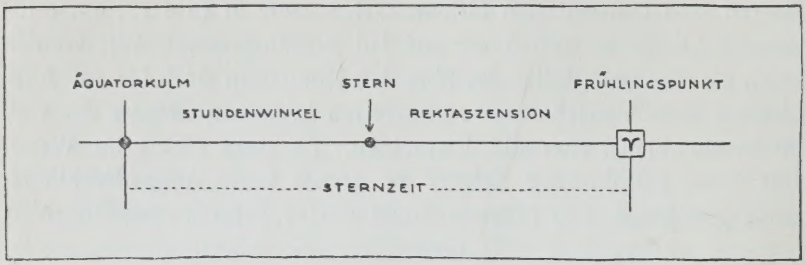


Bild 28. Formel: „Sternzeit = Rektaszension plus Stundenwinkel." Senkrecht durch den Äquatorkulm geht der Meridian.

beliebigen Sternes unmittelbar bestimmt und dessen Rektaszension irgend einer Sterntafel entnimmt.

(19) Jährliche Drehung. Wir wissen, daß der Himmelswagen im Verlauf von 24 Stunden die verschiedensten Stellungen einnimmt. Er ist einmal unter dem Polarstern, dann rechts von ihm, dann wieder oben und schließlich links vom Pol. Betrachten wir aber den Nordhimmel allabendlich immer etwa um genau 9 Uhr und notieren wir diese 9 Uhr-Stellungen des Wagens, dann finden wir folgendes: Anfang November steht der Wagen tief unten, knapp über dem Nordpunkt des Horizontes im ruhenden 12 Uhr-Kreis, Anfang Februar rechts vom Polarstern im ruhenden 18 Uhr-Kreis, Anfang Mai über dem Pol nahe dem Zenit im 0 Uhr-Kreis, Anfang August endlich — immer und immer abends 9 Uhr — links vom Pol, im ruhenden 6 Uhr-Kreis. Die Sterne des Wagens — übrigens auch alle übrigen Sterne — haben also außer der täglichen auch eine jährliche Bewegung. Wir beobachten eine jährliche Drehung der Himmelskugel um die Himmelsachse.

(20) Doppelmechanismus. Daß wir bei einer Taschenuhr mit zwei Zeigern zwei Bewegungen vor uns haben, eine rasche und eine langsame, dies festzustellen bietet kaum eine Überraschung. Daß aber ein einziger Himmelszeiger, wie der Kolursternzeiger, tatsächlich zwei Bewegungen von so verschiedener Geschwindigkeit, eine tägliche und eine jährliche vollführt, muß an Hand des Bildes 29 erklärt werden. Hat der Kolurstern Dienstag 9 Uhr abend die im Bilde angegebene Stellung, so vollführt er zunächst im Verlauf eines Sterntages einen vollen Umlauf und ist nach 23 Stunden 56 Minuten, also Mittwoch abend schon 4 Minuten vor 9 Uhr wieder in der Stellung,

wie tags zuvor abends um 9 Uhr, beschreibt dann in den restlichen 4 Minuten bis 9 Uhr noch ein Stück Weges, so daß er von Dienstag 9 Uhr bis Mittwoch 9 Uhr nicht nur 360 Grad, sondern etwa 361 Grad beschrieben hat. Bis Donnerstag abend 9 Uhr wird er neuerdings weitere 361 Grad zurücklegen, so daß er von der ursprünglich betrachteten Stelle insgesamt 2 Grad weiter gegangen ist usw. — In einem Vierteljahr summieren sich diese täglichen Verschiebungen von je einem knappen Grad zu einem Viertelkreis, in 365 Tagen zu einem vollen Kreis. So kommt die sogenannte „jährliche Drehung" der Sterne und des ganzen Himmels zustande. Blicken wir nach Norden (Bild 29), so erfolgt die Bewegung entgegengesetzt dem Turmuhr-

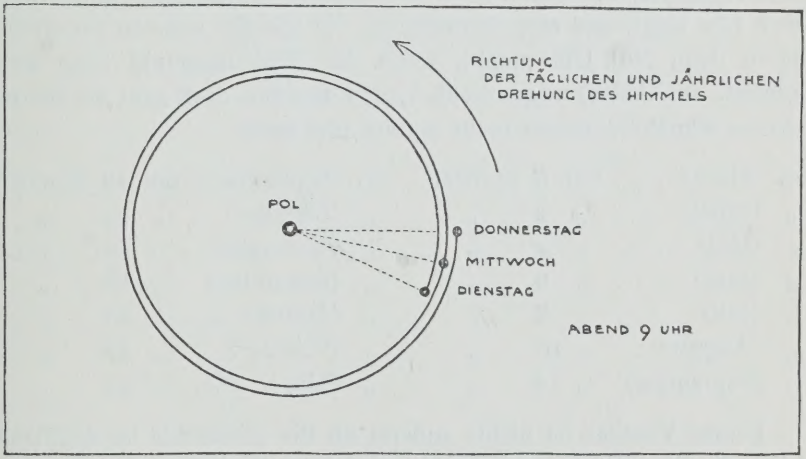


Bild 29. Jährliche Drehung. Die Windungen der Spirale fallen in Wirklichkeit in einen einzigen Kreis zusammen. Jeden Tag beschreibt der Stern etwa 361 Grad, rückt also in der Richtung des Pfeiles „jahreszeitlich" weiter.

zeiger. Für den Blick nach Süden geht die der jährlich umlaufenden Himmelsbilder nach rechts. Wir könnten ohneweiters von einer Jahresspirale eines Sternes sprechen, nur laufen alle Windungen in demselben Kreis. Ihre Abstände voneinander sind Null. Nur im Schema des Bildes 29 legten wir die Windungen auseinander.

(21) Sternzeit und mittlere Zeit. Während in einem Jahr die Sonne 365mal umläuft, gehen die Sterne auch zunächst 365mal herum, außerdem jedoch legen sie täglich noch das eben beschriebene kleine Stück von einem knappen Grad zurück, so daß sich

im Verlauf eines Jahres diese kleinen Stücke zum vollen Umlauf eines 366sten Sterntages summieren, wir haben also

365 mittlere Sonnentage = 366 Sterntage,
genauer 365,2422 mittlere Sonnentage = 366,2422 Sterntage.

Für Umrechnungen gilt:

1 Sternzeiteinheit = 0,99727 mittlere Zeiteinheiten,
1 mittlere Zeiteinheit = 1,00274 Sternzeiteinheiten.

(22) Sternzeit im mittleren Mittag. Wir stellen uns zwei zuverlässig gehende Uhren vor, eine 24ziffrige, nach mittlerer Zeit regulierte, die dann, wenn die mittlere Sonne oben kulminiert, Null Uhr zeigt, und eine Sternzeituhr, die wie alle anderen Sternzeituhren dann Null Uhr angibt, wenn der Frühlingspunkt oben kulminiert. Im ⟨März⟩ zeigen beide Uhren dasselbe, doch geht die Sternzeituhr allmählich immer mehr voraus, und zwar

im ⟨März⟩ . . .	um 0 Stunden	im ⟨September⟩	um 12 Stunden
„ ⟨April⟩ . . .	„ 2 „	„ ⟨Oktober⟩ .	„ 14 „
„ ⟨Mai⟩ . . .	„ 4 „	„ ⟨November⟩	„ 16 „
„ ⟨Juni⟩ . . .	„ 6 „	„ ⟨Dezember⟩	„ 18 „
„ ⟨Juli⟩	„ 8 „	„ ⟨Januar⟩ . .	„ 20 „
„ ⟨August⟩ . .	„ 10 „	„ ⟨Februar⟩ .	„ 22 „
„ ⟨September⟩	„ 12 „	„ ⟨März⟩ . . .	„ 24 „

Dieses Voreilen ist nichts anderes als die „Sternzeit im mittleren Mittag". Sie wird in astronomischen Jahrbüchern für jeden Tag besonders angeführt. Diese Zahlen sagen uns aber zugleich, welche rotierenden Stundenkreise zu Mittag kulminieren. So kulminiert im ⟨Dezember⟩ der Stundenkreis 18 zu Mittag, infolgedessen muß um punkt 12 Uhr Nacht im ⟨Dezember⟩ der Stundenkreis 6 kulminieren, der durch das Große Sechseck geht. Orion z. B., diesem Stundenkreis sehr nah, ist also ausgesprochenes Wintersternbild.

(23) Siebzehneruhr. Wer beim Abendspaziergang „im Kopf" oder besser gesagt auf einer aus der Tasche geholten Visitkarte aus der Sternzeit, die ihm nach Bild 26 die Kassiopeia liefert, die mittlere Sonnenzeit bestimmen will — die „Genauigkeit" soll dem Sinn eines Spazierganges, auf dem man sich erholen will, angepaßt sein — der schreibt Januar 1. Hälfte, Januar 2. Hälfte, Februar

1. Hälfte, Februar 2. Hälfte usw. in irgend einer Form, am besten untereinander I 1, I 2, II 1, II 2 usw. hin. Die 24 Zeilen werden von oben nach unten mit 17, 16, 15, 14 usw. numeriert. Statt Null schreiben wir 24 und zählen dann 23, 22, 21 usw., bis wir mit 18 enden. Diese 17er-Uhr wird folgendermaßen benützt: Lesen wir um den 21. November herum aus der Stellung des Kolursterns 1 Uhr Sternzeit ab, dann gibt unser Zettel für November, 2. Hälfte, die Nummer 20 an. Diese Zahl, zu der vom Himmel geholten Zahl 1 addiert, gibt 21 Uhr mittlere Zeit postalischer Zählung, d. h. 9 Uhr abend. Der Unterschied zwischen der mittleren Zeit und der „Zeit einer richtigen Taschenuhr" wird erst später behandelt werden.

VIERTER ABSCHNITT

SONNENBAHN AM ROTIERENDEN HIMMEL

Sonne und Spika / Sonne und Frühlingspunkt / Ekliptik als Kreis / Ekliptik als Schlangenlinie / Länge und Breite / Tierkreiszeichen / Längenzunahme / Zunahme der Rektaszension / Analyse der Zeitgleichung / Rotation der Ekliptik / Hauptlagen / Tropisches Jahr / Kalenderjahr und Schaltregel / Anomalistisches Jahr / Numerierung der Tage

(1) Sonne und Spika. Es sei der 15. Oktober (Bild 30). Wenn wir die Sonne im Augenblick ihrer Kulmination, also im wahren Mittag, verdunkeln könnten, würden wir in ihrer Nähe, etwas links von der Sonne und tiefer als diese, den Stern Spika sehen. Wir haben im Schema auch diesen schwarz gefärbt. Bis zum wahren Mittag des

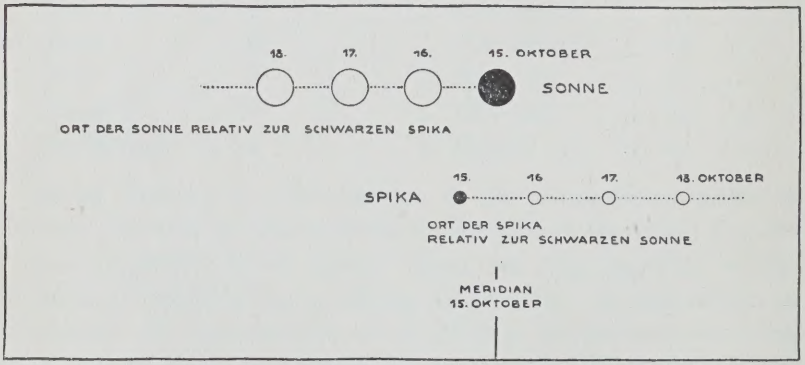


Bild 30. Sonne und Spika am 15. Oktober. Beide bewegen sich relativ zueinander. Die waagrechten Linien sind als Teile von nach unten zu hohlen Bogen zu denken. Die Deklinationsänderung der Sonne ist nicht berücksichtigt.

16. Oktober hat Spika mit dem rotierenden Sternhimmel bereits mehr als einen vollen Umlauf gemacht, steht einen Grad oder zwei Sonnendurchmesser weiter rechts, am 17. wieder einen Grad, also vier Sonnendurchmesser weiter rechts und so weiter. In bezug auf die Sonne verschiebt sich der Stern, also verschiebt sich auch in bezug auf

Spika und damit in bezug auf den rotierenden, den Kolurhimmel überhaupt, die Sonne. Sie wandert dann in bezug auf die ruhend angenommene Spika nach links, wobei die stetige Deklinationsänderung der Sonne deren Bahn etwas neigt. — So wandert die Sonne im Verlauf des Jahres am rotierenden Sternhimmel von einem Stern zum anderen in geschlossener Bahn, während sich ihre Deklinationen und Rektaszensionen ständig ändern. Die Rektaszension nimmt dabei täglich um etwa 1 Grad, durchschnittlich 0,986 Grad zu, so daß diese Zunahme sich in einem Jahr zu $0{,}986 \times 365 = 360$ Grad summiert.

(2) Sonne und Frühlingspunkt. Wäre es möglich, zu Frühlingsbeginn die wahre Sonne so weit zu verdunkeln, daß die Sterne sichtbar würden, so müßten wir feststellen, daß die Sonne, genauer der Mittelpunkt der mittleren Sonne, im Frühlingspunkt steht. Nun bleibt aber die langsamer täglich um die Himmelsachse laufende Sonne hinter den Sternen allmählich zurück, oder, was auf dasselbe herauskommt: die Sternbilder, die z. B. im ⟨Frühling⟩ in Sonnennähe waren, verschieben sich relativ zur Sonne nach rechts. Oder auch: Die links von der Sonne stehenden Sternbilder nähern sich der Sonne von links nach rechts, so daß z. B. jeden Monat andere Sterne nach Sonnenuntergang den Abendhimmel schmücken. So sieht man am frühen Abend links oberhalb der Untergangsstelle folgende Sternbilder:

im ⟨März⟩ den Widder,
„ ⟨April⟩ den Stier,
„ ⟨Mai⟩ die Zwillinge,
„ ⟨Juni⟩ den Krebs,
„ ⟨Juli⟩ den Löwen,
„ ⟨August⟩ die Jungfrau,
im ⟨September⟩ die Waage,
„ ⟨Oktober⟩ den Skorpion,
„ ⟨November⟩ den Schützen,
„ ⟨Dezember⟩ den Steinbock,
„ ⟨Januar⟩ den Wassermann,
„ ⟨Februar⟩ die Fische.

Diese 12 Sternbilder, die zum Sonnenort in derart bestimmter wichtiger Beziehung stehen, nennt man in ihrer Gesamtheit, weil sie großenteils Tierfiguren gelten, die Zodiakal- oder Tierkreisbilder. Mit ihnen verschieben sich relativ zur Sonne auch die übrigen Sternbilder, da ja alle an der rotierenden Himmelskugel starr miteinander verbunden sind. So kommt z. B. das im Winter am besten sichtbare Sternbild Orion im Frühling allmählich in Sonnennähe und bleibt eine Zeitlang unsichtbar, bis es rechts von der Sonne wieder aufleuchtet. Wir sehen die Bilder abends zum letztenmal am Westhimmel und finden sie nach einigen Wochen des Morgens wieder am Ost-

himmel. Man nennt dieses Verschwinden und Wiedersichtbarwerden den heliakischen Untergang und heliakischen Aufgang der Sterne. Für zirkumpolare Sterne kommen diese beiden Erscheinungen nicht in Betracht, da sie immer über dem Horizont sind.

(3) Ekliptik als Kreis. Die Jahresbahn der Sonne in bezug auf den rotierenden Sternenhimmel, also die zunächst durch den

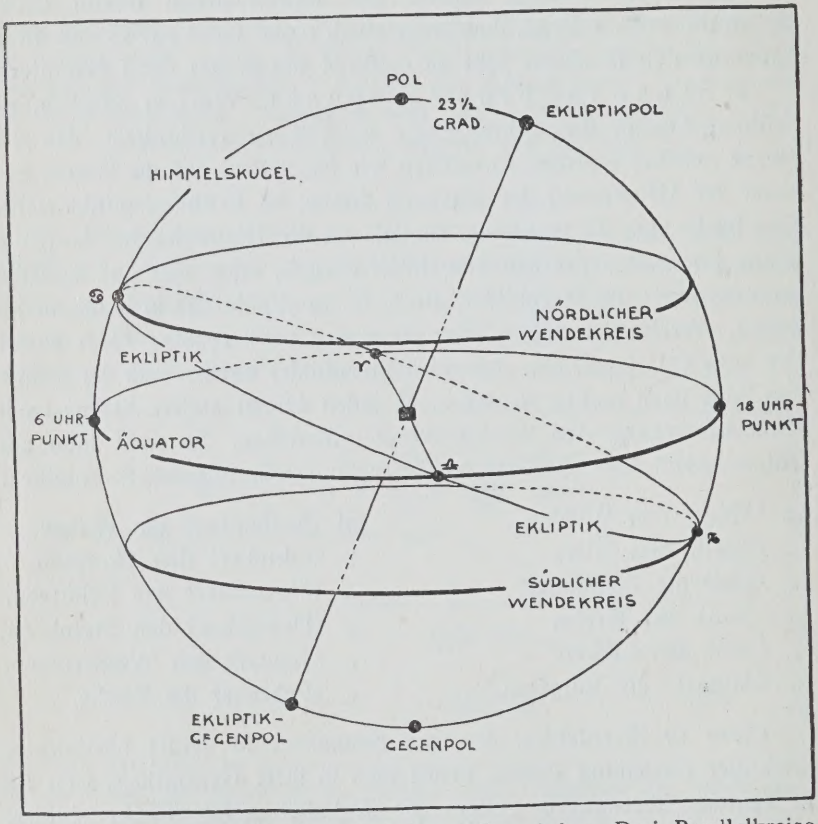


Bild 31. Himmelskugel mit aufrecht gestellter Achse. Drei Parallelkreise. Ekliptik mit den Symbolen des Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winterpunktes. Neigung gegen den Äquator 23½ Grad.

Frühlingspunkt gelegte Kreislinie, nennen wir die Ekliptik. In Bild 31 ist die Himmelskugel so gedreht, daß der Äquator waagrecht liegt. Die Sonne durchquert den Äquator außer im ⟨Frühling⟩ auch im ⟨Herbst⟩. Diesen Schnittpunkt nennen wir entsprechend Herbstpunkt

und die Punkte größter nördlicher und südlicher Sonnendeklination, die von der unter den Sternen wandernden Sonne bei 6 und 18 Uhr Rektaszension eingenommen werden, Sommerpunkt und Winterpunkt. Diese beiden Punkte liegen in den Wendekreisen. — In bezug auf den ruhenden Himmel war die Jahresbahn der Sonne, wir wir sahen, eine komplizierte Schraubenlinie, in bezug auf die Sterne ergibt sie sich als einfacher Kreis, eben als die Ekliptik, die mit dem rotierenden Äquator einen Winkel von 23½ Grad einschließt. Man nennt diesen Winkel die „Schiefe der Ekliptik". Ihr genauer Betrag ist $23^0\ 27'$, ändert sich jedoch langsam. Für 1933 kann $23^0\ 26'\ 53''$ angegeben werden. Der Winkel nimmt gegenwärtig um eine halbe Bogensekunde im Jahr ab. Für die Ekliptik wird auch der Name Zodiakus oder Tierkreis gebraucht, doch wird dieser meistens nur für den die 12 Tierkreisbilder einschließenden Gürtel verwendet.

(4) Ekliptik als Schlangenlinie. Wickeln wir den Äquator mitsamt dem Ekliptikgürtel derart auf eine Ebene ab, daß der Äquator eine gerade Strecke wird, dann erhalten wir gleichzeitig für die Ekliptik dieselbe Schlangenlinie wie bei der Darstellung der Sonnendeklinationen (Bild 32). Die waagrechte Linie, die dort nur

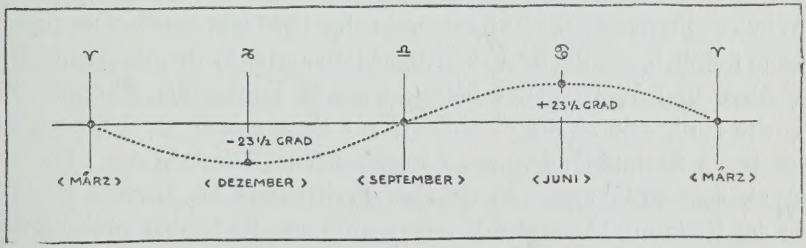


Bild 32. Ekliptik als Schlangenlinie. Die waagrechte Linie ist der Äquator.

den Verlauf der Zeit angeben konnte, wird hier zum rotierenden Äquator. Die Ekliptik schneidet den rotierenden Äquator bei dieser Darstellung aufsteigend im Frühlingspunkt, absteigend im Herbstpunkt. Der Sommerpunkt der Ekliptik liegt im nördlichen, der Winterpunkt im südlichen Wendekreis. Die Namen der Wendekreise gewinnen weiter an Bedeutung. Die Sonne, deren Bahn am rotierenden Himmel eben die Ekliptik ist, „wendet" sich, nachdem sie den ganzen Frühling hindurch vom Äquator wegeilte, den nördlichen Wendekreis berührend, wieder dem Äquator zu. Im Winterpunkt „wen-

det" sie sich vom Abstieg zum Aufstieg. Im Augenblick der Sommer- und der Wintersonnenwende nimmt die Deklination der Sonne weder zu noch ab. Wir nennen deshalb den Sommerpunkt auch den Punkt des Sommersonnenstillstandes oder das Sommersolstitium, entsprechend den Winterpunkt das Wintersolstitium, Bezeichnungen, die sich in den Namen der Kolurkreise wiederfinden.

(5) Länge und Breite. So wie wir den rotierenden Äquator zum Grundkreis eines rotierenden Systems machen, um mit Hilfe des in ihm liegenden Frühlingspunktes das System der Rektaszension und Deklination aufzustellen, so können wir auch die Ekliptik als Grundkreis und den ebenfalls in ihr befindlichen Frühlingspunkt als Ursprung für die Zählung der Ekliptikkoordinaten festlegen. Von allen Punkten der Ekliptik nördlich und südlich gleichweit abstehend liegt — im Sternbild des Drachen — der Ekliptikpol (Bild 31), an der Himmelskugel ihm gegenüber, im Schwertfisch, der Südpol der Ekliptik, den wir Ekliptikgegenpol nennen wollen. — Wir ziehen vom Ekliptikpol durch einen Stern bis zum Ekliptikgegenpol einen Halbkreis, den sogenannten Breitenkreis des Sternes. Sein Stück von der Ekliptik bis zum Stern, im Gradmaß ausgedrückt, ist die Ekliptikbreite oder einfach die Breite des Sternes. Es ist dies zugleich der Winkel „Stern - Auge - Ekliptikpunkt des Breitenkreises". Die Breite kann nördlich, positiv, oder südlich, negativ, sein. Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winterpunkt haben, wie alle Punkte der Ekliptik, die Breite Null. Die zweite Koordinate zur Bestimmung eines Sternortes ist dessen Ekliptiklänge, kurz Länge genannt. Diese ist das Ekliptikstück vom Frühlingspunkt bis zum Breitenkreis des Sternes, gezählt in der Richtung gegen den Sommerpunkt zu. Es ist dies zugleich der Winkel „Frühlingspunkt-Auge-Ekliptikpunkt des Breitenkreises". —

(6) Tierkreiszeichen. Die Ekliptik wird gewöhnlich in 360 Grad eingeteilt. Man teilt sie auch, indem man zwischen je zwei Kardinalpunkten noch unterteilt, in 12 Teile zu je 30 Grad und nennt einen solchen Teil ein „Zeichen der Ekliptik". Diese Zeichen haben Namen nach den ihnen benachbarten Sternbildern des Tierkreises. Zeichen und Sternbilder sind streng auseinanderzuhalten. Sie haben gleiche Namen, doch bedeutet z. B. das „Sternbild der Zwillinge" die Gesamtheit soundso vieler Sterne, das „Zeichen der Zwillinge" ein bloßes Stück der Ekliptik, das mit den Sternen nichts zu tun hat. In Bild 33 sind drei Sternbilder und die nach ihnen benannten Zeichen

der Ekliptik skizziert. Dem Anfangspunkt eines jeden Zeichens gibt man ein bestimmtes Symbol, dessen Gestalt an das benachbarte Sternbild erinnern soll. Da sich die Beginne des Widder-, Krebs-, Waage- und Steinbockzeichens mit Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winterpunkt decken, haben diese vier Punkte dasselbe Symbol wie die ent-

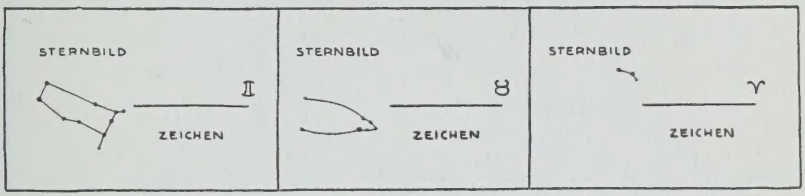


Bild 33. Sternbild und gleichnamige Zeichen sind voneinander durchaus zu unterscheiden. Vor 2000 Jahren waren Sternbild und Zeichen nicht getrennt.

sprechenden Zeichen des Tierkreises. Die Widderhörner sind uns als Symbol des Frühlingspunktes gut bekannt.

(7) Längenzunahme. Die Länge der Sonne nimmt täglich um 0,986 Grad oder 59,2 Bogenminuten zu. Dies sind Durchschnittszahlen. Die Geschwindigkeit der Sonne in ihrer Bahn ist tatsächlich veränderlich. Sie ist am kleinsten Anfang Juli, Anfang Januar am größten. Der Sonnenlauf ist in der ersten Jahreshälfte, von Januar an, verzögert, in der zweiten, von Juli bis Dezember, beschleunigt. Am raschesten läuft die Sonne dann, wenn ihr Scheibendurchmesser am größten ist.

(8) Zunahme der Rektaszension. Während so die Zunahme der Sonnenlänge nur ein Maximum und ein Minimum aufweist, weisen die Zunahmen der Rektaszensionen der Sonne zwei kleinste Werte auf, im ⟨Frühling⟩ und im ⟨Herbst⟩ und zwei größte Werte, im ⟨Sommer⟩ und im ⟨Winter⟩. Bild 34 zeigt den Äquator als Strecke, die Ekliptik als Schlangenlinie mit absichtlich stark vergrößerten Ausschlägen nach oben und nach unten. Um die Jahreszeitenwenden sind Zwanzigtagstücke auf der Ekliptik aufgetragen. Sie sind zunächst alle einander praktisch gleich, wenn wir von den durch ungleiche Geschwindigkeit der Sonne in der Ekliptik hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten absehen. Projizieren wir jedoch diese vier gleich langen Stücke auf den Äquator, so fallen ihre Projektionen verschieden lang aus. — Um die Zeit der Sonnenwenden sind die Projektionen etwa gleich den Ekliptikstücken, da Ekliptik

und Äquator an diesen beiden Stellen praktisch als parallel laufend bezeichnet werden können. Zur Zeit der Nachtgleichen sind die Projektionen bedeutend kleiner als die Ekliptikstücke, da die Ekliptik an diesen Stellen stark zum Äquator geneigt ist. Die auffälligsten

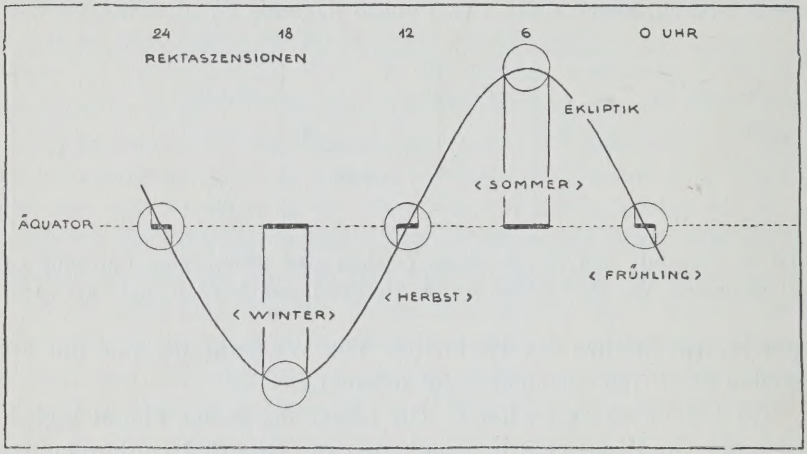


Bild 34. Eingekreiste Zwanzigtagstücke der Ekliptik fallen, auf den Äquator projiziert, verschieden lang aus. Rektaszensionen der Sonne wachsen ungleichmäßig.

Schwankungen in der Zunahme der Sonnenrektaszension, wie sie aus Seite 128 zu ersehen sind, sind hiemit erklärt.

(9) Analyse der Zeitgleichung. Im Bild 35 sind die eben beschriebenen Rektaszensionsschwankungen der Sonne, hervorgerufen durch die Neigung der Sonnenbahn gegen den Äquator, graphisch als dünnausgezogene Schlangenlinie veranschaulicht. Wir nennen sie Ekliptikalkurve. In dasselbe Schema ist auch die Zeitgleichungskurve aus Bild 13, um 90 Grad gedreht, eingezeichnet. Eine dritte punktierte Linie, die wir vorläufig Restkurve nennen, ist so gezeichnet, daß die Abstände ihrer Punkte, von der waagrechten Nullinie zu den entsprechenden Abständen der Ekliptikalkurve addiert, stets die dazugehörigen Beträge der Zeitgleichung geben. Es ist damit eine Analyse der Zeitgleichungsbeträge gegeben. Es setzt sich ein jeder zusammen aus einem aus der Schiefe der Ekliptik sich ergebenden Anteil und einem zweiten Restanteil, der auf wirkliche Unregelmäßigkeiten der Sonnengeschwindigkeit in der Ekliptik selbst zurückzuführen ist. Wir hatten schon früher ge-

sehen, daß diese Geschwindigkeit am größten ist, wenn die Sonnenscheibe am größten ist, Anfang Januar, und daß sie Anfang Juli am kleinsten ist, wenn die Sonnenscheibe den kleinsten Durchmesser hat. In der kalten Jahreszeit, also in der südlichen Ekliptikhälfte, läuft die Sonne relativ rascher, in der warmen Jahreszeit, also in der nördlichen Ekliptikhälfte, langsamer. Eine zahlenmäßige Prüfung hält bis auf sehr kleine

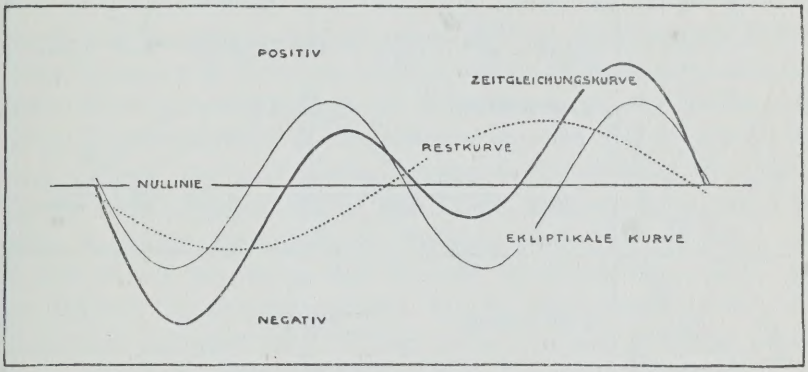


Bild 35. Zeitgleichungskurve wie in Bild 13, aber um 90 Grad gedreht. Tage von rechts nach links gezählt. Die dünne Linie veranschaulicht die nach Bild 34 durch die Ekliptikschiefe, die punktierte die durch ungleichmäßige Geschwindigkeit der Sonne in der Ekliptik selbst hervorgerufenen Beträge.

Beträge, die wir Störungen nennen wollen, gut stand. Das Problem wird im fünften Abschnitt des zweiten Teiles weiter geklärt werden.

(10) Rotation der Ekliptik. Die Ekliptik ist eine an der sich täglich und jährlich drehenden Kolursphäre festgelegte Kreislinie, sie macht also die tägliche und jährliche Drehung um die Himmelsachse mit. Während jedoch der rotierende Himmelsäquator sich um die Himmelsachse als eine in seiner Mitte errichtete Normale dreht, ist die Ekliptik gegen dieselbe Achse um den Winkel von 23½ Grad geneigt. Während der Äquator als „Rotationsraum" nur seine eigene Ebene beansprucht, benötigt die Ekliptik als Rotationsraum die ganze Kugelschicht zwischen den zwei Wendekreisen. Der Ekliptikpol beschreibt dabei einen Kreis mit dem Halbmesser 23½ Grad um den Himmelspol. Dabei ist die Steilheit der Ekliptik in bezug auf den Horizont auffällig veränderlich.

(11) Hauptlagen. Bild 36 gibt die vier Lagen um 6, 12, 18 und 24 Uhr Sternzeit wieder, wenn also der Frühlingspunkt im Westen, Norden, Osten und Süden steht. Die erste schmälere Spalte

zeigt den Himmel als Kugel. Der Frühlingspunkt ist jedesmal besonders hervorgehoben. Die zweite breite Spalte zeigt den Himmel als auf-

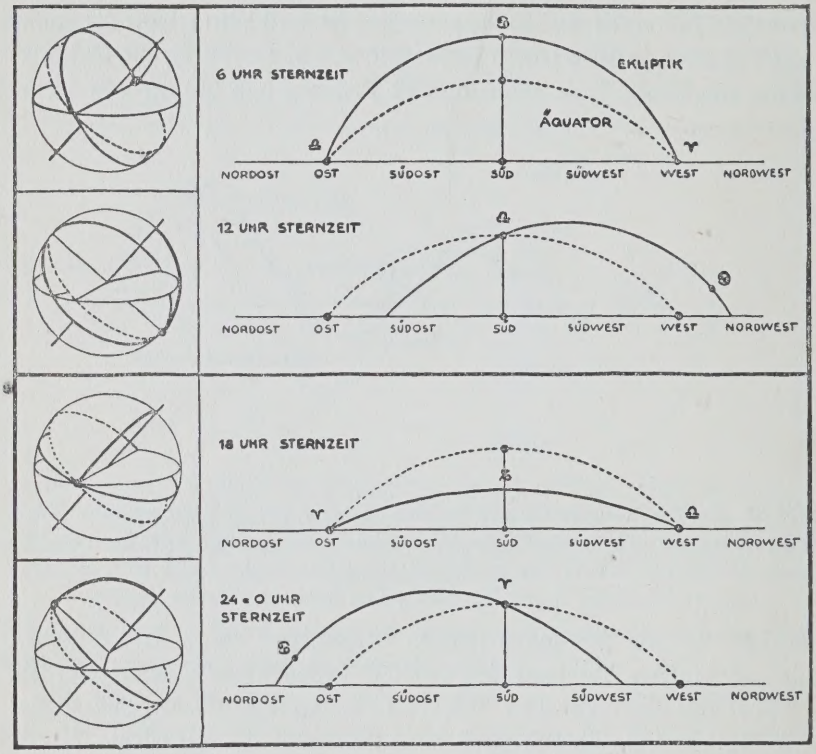


Bild 36. Hauptlagen der Ekliptik. In den Kugeln links sind der Frühlingspunkt und die Kolurlinie hervorgehoben. Rechts Himmelskulissen. Äquator gestrichelt. Ekliptik ausgezogen

gerollte Kulisse. Die Ekliptiklagen sind für jede der vier Tageszeiten einer jeden der vier Jahreszeiten nach der Tabelle hier herauszufinden.

Hauptlagen in Sternzeit	⟨Abend⟩	Mitternacht	⟨Morgen⟩	Mittag
6 Uhr	⟨Frühling⟩	⟨Winter⟩	⟨Herbst⟩	⟨Sommer⟩
12 Uhr	⟨Sommer⟩	⟨Frühling⟩	⟨Winter⟩	⟨Herbst⟩
18 Uhr	⟨Herbst⟩	⟨Sommer⟩	⟨Frühling⟩	⟨Winter⟩
24 Uhr	⟨Winter⟩	⟨Herbst⟩	⟨Sommer⟩	⟨Frühling⟩

Hier bedeuten ‹Abend› und ‹Morgen› beidemal 6 Uhr. Die für die Betrachtung der Ekliptikbilder vorteilhafteste Lage ist die „Hochlage", wenn der Sommerpunkt und mit ihm das Große Sechseck um Orion im Süden kulminiert. Hoch- und Tieflage geben für den nach Süden blickenden Beobachter symmetrische Verteilung.

(12) Tropisches Jahr. Die vier Jahreszeiten geben zusammen ein Jahr. Da es in seiner Länge und Einteilung einzig und allein durch den Sonnenlauf bedingt wird, stellt es ein Sonnenjahr dar. Seine Länge ist die Zeit, die während eines einmaligen Umlaufes der Sonne durch die zwölf Zeichen der Ekliptik vergeht, oder die Zeit von einem Zusammentreffen der Sonnenmitte mit dem Frühlingspunkt bis zum nächsten. Der so definierte Zeitraum heißt tropisches Jahr. Seine Länge ist keine ganze Anzahl von Tagen, denn wenn dies der Fall wäre, so müßte, wenn z. B. der Frühling einmal am 21. März um 6 Uhr abends begann, er auch in allen darauffolgenden Jahren am 21. März, 6 Uhr abends, beginnen. Das ist nun keineswegs der Fall. Außerdem sind die tropischen Jahre auch unter sich nicht alle gleich lang. Vieljährigen Durchschnitt geben die folgenden Zahlen:

tropisches Jahr = 365,2422 Tage
= 365 Tage 05 Stunden 49 Minuten.

(13) Kalenderjahr und Schaltregel. Die Festlegung des Beginnes eines neuen Kalenderjahres ist eine rein praktische Angelegenheit. Astronomisch kämen allenfalls der Eintritt der Frühlingsnachtgleiche oder der Wintersonnenwende bei der Frage des geeigneten Termins in Erwägung, ersterer als Beginn der sonnenreicheren Zeit, letzterer als Beginn des jährlichen Sonnenaufstiegs. Tatsächlich eröffnet man das Kalenderjahr etwa 10 Tage nach der Wintersonnenwende, wenn die Sonne etwa die Rektaszension $18^h\ 40^m$ hat. So findet gelegentlich in der Astronomie ein Vorschlag Anwendung, das Jahr in dem Augenblick beginnen zu lassen, wenn die Sonne mathematisch genau $18^h\ 40^m$ Rektaszension zeigt. Da die Länge des tropischen Jahres ungefähr 365¼ Tage beträgt und die überschüssigen Vierteltage sich in vier Jahren zu einem ganzen Tag summieren, wird alle vier Jahre ein Schalttag, und zwar im Februar, eingeschoben. Dies ist aber zuviel des Guten, denn das tropische Jahr hat etwas weniger als 365¼ Tage. So wird in allen Jahren, deren Jahreszahl am rechten Ende zwei Nullen hat, der Schalttag weggelassen und nur bei

den durch 400 teilbaren Jahreszahlen ein Schalttag belassen. Eine absolut einwandfreie Schaltregel ist nur für ganz beschränkte Zeiträume möglich. Geben wir uns mit der Genauigkeit von 365,2422 Tagen für die Dauer eines tropischen Jahres zufrieden, so müßten wir auf 10 000 Jahre, das sind 3 652 422 Tage, insgesamt 2422 Schalttage irgendwie aufteilen.

(14) Anomalistisches Jahr. Außer dem tropischen Jahr wird uns später auch eine andere Periode interessieren, innerhalb der die Größe des Sonnendurchmessers schwankt, innerhalb der die Sonnenscheibe — wie wir sagen wollen — „pulsiert". Diese Zeitdauer von einem bis zum nächsten Maximum nennt man ein anomalistisches Jahr. Im großen Durchschnitt hat ein

anomalistisches Jahr = 365,2596 Tage
= 365 Tage 06 Stunden 14 Minuten.

(15) Numerierung der Tage. Außer der gewöhnlichen Bezeichnung der Tage, z. B. 1. Januar 1900, gibt es noch eine zweite, jahreszahllose, die sogenannte julianische Numerierung. Man zählt, ganz willkürlich das Jahr 4713 vor unserer Zeitrechnung als Ausgangsjahr nehmend, die Tage, und zwar so, daß ein neuer Tag nicht um Mitternacht, sondern um Mittag beginnt, so daß z. B. der Mittag des 1. Januars 1900 mit der Zahl 2 415 021 bezeichnet wird. Die Zahl besagt, daß seit dem eben erwähnten, im übrigen ganz uninteressanten Augenblick bis zum Mittag des 1. Januars 1900 genau 2 415 021 Tage verflossen sind. Man kann auch sagen: der 1. Januar 1900 hat die julianische Nummer 2 415 021.

FÜNFTER ABSCHNITT

HIMMELSDARSTELLUNGEN

Lotbild / Schrägbild / Symbolische Darstellung / Symbolik und naive Betrachtung / Dreiteilung des Himmels / Ebene, Zylinder, Kegel / Projektion auf Ebenen / Globularprojektion / Spitze Form / Elliptische Form

(1) Lotbild. Den Himmel darzustellen ist gleichbedeutend mit der Aufgabe, eine Kugel irgendwie abzubilden. — Wir projizieren (Bild 37) zunächst alle Kugelpunkte senkrecht oder orthogonal auf eine Ebene. Um unsere Vorstellung besser zu leiten, mögen wir bloß drei größte Kugelkreise im Auge behalten: Äquator, Kolur der Nacht-

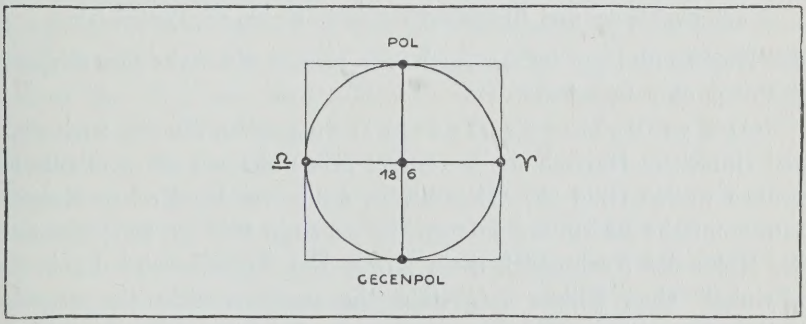


Bild 37. Lotbild. Orthogonale Projektion der Himmelskugel auf den Kolur der Nachtgleichen. 6 und 18 bedeuten Rektaszensionen am Äquator.

gleichen, Kolur der Sonnenwenden. Wir stellen den Äquator horizontal, Pol oben, Gegenpol unten. Der Frühlingspunkt soll rechts, der Herbstpunkt links sein. Dann liegt der 6 Uhr-Punkt, einfach mit 6 bezeichnet, hinten, der 18 Uhr-Punkt vorne.

(2) Schrägbild. Betrachten wir die Kugel von oben und von der Seite, so jedoch, daß unser Blick wie zuvor senkrecht auf die Ebene des Kolurs der Nachtgleichen fällt, dann bleibt der Kreis der Nachtgleichen als Kreis bestehen, aus den anderen zwei Kreisen werden im Schrägbild Ellipsen. Die drei runden Tuschlinien schneiden

sich, abgesehen von den sechs wirklichen Schnittpunkten im Raum, in der Papierebene noch in sechs weiteren, also insgesamt in zwölf Punkten. Jagen wir den Fluchtpunkt der perspektivischen Darstellung ins Unendliche, so erhalten wir ein gern angewandtes Abbild

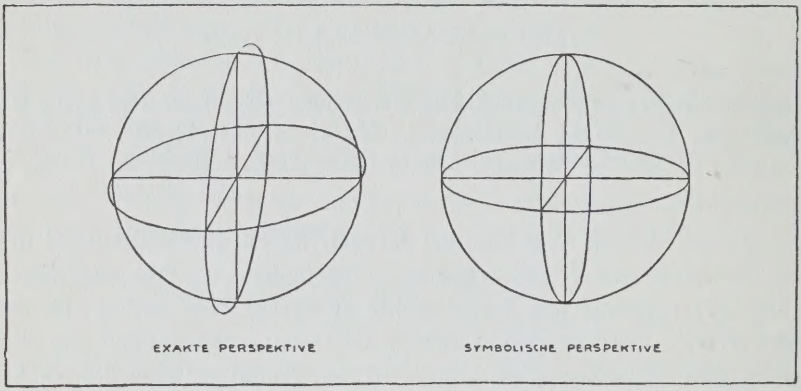


Bild 38. Bei exakter perspektivischer Darstellung bestehen dreimal soviel Schnittpunkte der drei Kreise untereinander als bei der symbolischen.

der Kugel (Bild 38 links). Auch hier bleiben die sechs überzähligen Schnittpunkte bestehen.

(3) Symbolische Darstellung. Wir können auch eine viel einfachere Darstellung der Kugel geben, die wir die symbolische nennen wollen (Bild 38). Hier bleibt, wenn wir den Kreisen dieselbe astronomische Bedeutung zulegen wie denen in Bild 37, beispielsweise der Kolur der Nachtgleichen ein Kreis. Der Äquator wird durch das „Symbol" einer Ellipse dargestellt, die zunächst nicht als perspektivische Darstellung aufgefaßt werden soll. Die Längsachse der Ellipse ist waagrecht, deren Querachse zu ihr senkrecht gezeichnet. Dies Symbol soll, durch Beschriftung geleitet, bedeuten, daß wir es mit einem zum Papier senkrechten Kreis zu tun haben. Der symbolisch in die Papierebene gelegte, zur Ellipse umgeformte Kreis muß also in Gedanken erst um 90 Grad gedreht werden. Dasselbe gilt von der zweiten Ellipse. Sie ist ebenfalls nur ein „Symbol" für den in Gedanken senkrecht zum Papier zu stellenden Kolur der Sonnenwenden. Die in Bild 37 mit 6 bezeichnete Stelle ist jetzt zunächst gar kein eigentlicher Punkt. Sie wird erst zum Raumpunkt, wenn wir beide, durch Ellipsen „symbolisierte" Kreise aufgeklappt haben. Der Grundsatz, daß eine Abbildung nur dann als exakt anzusehen ist, wenn — in irgend einer

beliebigen Weise — jedem Punkt des hier räumlichen Gegenstandes ein Punkt im Bild eindeutig zugeordnet ist, ist hier gewahrt.

(4) Symbolik und naive Betrachtung. Verfehlt ist es, wenn man unsere symbolische Darstellung als bloß vereinfachtes, gleichgültig gezeichnetes perspektivisches oder schräg gerissenes Abbild betrachtet. Erlaubt jedoch darf es sein, wenn man dem naiven Betrachter, wie auch dem deutlich über seiner Wissenschaft Stehenden die Freiheit gibt, die symbolische Darstellung unmittelbar irgendwie räumlich perspektivisch zu erfassen, ohne daß ihn die Verzerrungen im Vergleich mit der nichtsymbolischen Darstellung stören. — In unserem Werk hier möchten wir uns grundsätzlich von allem freihalten, was die Zeichnung in irgend einer Weise belasten könnte, deren einzige Aufgabe wir darin erblicken, den Text begleitend zu fördern und möglichste Anschaulichkeit zu schaffen. Wir behalten uns so auch jede Freiheit der Deformierung, Vergrößerung und Verkleinerung einzelner Teile, auch einzelner Winkel in unseren durchwegs schematischen Zeichnungen ausdrücklich vor. Eine Gegenüberstellung von nicht schematischer und bei Verwertung symbolischer Deutung erlaubter schematischer Darstellung (Bild 38) zeigt vielleicht neben der relativen Umständlichkeit der Wiedergabe in der nicht schematischen Form auch die Gefahr für den unvoreingenommenen Beobachter, einer optischen Täuschung zu unterliegen, als ob z. B. der Äquator und der Kolur der Sonnenwenden im Modell verwackelt wären.

(5) Dreiteilung des Himmels. Handelt es sich darum, statt des aus drei Kreisen bestehenden Skelettes die ganze Oberfläche möglichst wenig verzerrt wiederzugeben, so empfiehlt sich eine Dreiteilung des Himmels. Wir zerschneiden ihn etwa bei 40 Grad nördlicher und südlicher Deklination in einen äquatorialen und zwei polare Teile (Bilder 44, 45, 46). Der Äquator, im Frühlingspunkt aufgeschnitten gedacht, wird ohne Verzerrung als gerade Linie aufgerollt. Jeden Stundenkreis rollen wir ebenfalls in zum Äquator senkrechter Richtung auf und erhalten so ein aus rechteckigen Maschen bestehendes Netz. Die Parallelkreise sind um so stärker gedehnt, je weiter sie vom Äquator entfernt sind. In der polaren Rundkarte sind die Stundenkreise ebenfalls Gerade, die Parallelkreise überall äquidistant, d. h. sie folgen in gleichen Abständen aufeinander. Auf der äquatorialen Karte ist der gerade Äquator in gleiche Teile geteilt. Die Meridiangrade sind in allen drei Karten gleich den Äquatorgraden.

Derart aufgerollte oder sonst aufgeebnete Himmelsflächen können sowohl von innen als auch von außen betrachtet werden, je nachdem der Zeichner sich innerhalb oder außerhalb der Himmelskugel beobachtend vorstellt. Unsere ebenen Himmelskarten sind, wenn es nicht anders betont wird, immer von innen, von der hohlen Seite her zu lesen. — Die Verschiedenartigkeit der angewandten Projektionsart bringt es mit sich, daß die gezeichneten Sternbilder mit den wirklichen Himmelsfiguren mitunter weniger übereinstimmen.

(6) Ebene, Zylinder, Kegel. Bei der eben besprochenen Dreiteilung kann man sich die Kugel von einem den Äquator berührenden Zylinder umgeben vorstellen, auf den dann die Stundenkreise abgerollt werden. Diese können auch direkt projiziert werden. Der Kreis der Nachtgleichen kann etwa auf eine seiner Tangenten, z. B. die im Frühlingspunkt, projiziert werden, so daß man aus der Kugelmitte, etwa durch die Punkte bei 10, 20, 40, 60 Grad, gerade Linien bis zur Tangente zieht. Geschieht diese Projektion für alle Stundenkreise auf einen um den Äquator gelegten Zylinder, so bieten die aufgerollten Karten in hoher Deklination enorme Verzerrungen. Es werden deshalb die auf der Tangente aufgetragenen Stücke nach irgend einer Regel folgerichtig verkleinert. Eine so veränderte Projektion ist z. B. die sogenannte Merkatorprojektion. — Die Fläche, auf die projiziert wird, kann auch ein Kegel sein, im Grunde jede beliebige Fläche, doch werden fast ausnahmslos abwickelbare Flächen genommen.

(7) Projektion auf Ebenen. Je nach der Lage des Zentrums der Projektion unterscheiden wir gnomonische, stereographische und orthogonale Himmelskarten (Bild 39). Gehen die die Kugel projizierenden Strahlen wie beim vertikalen Schattenstab oder Gnomon sämtlich durch die Kugelmitte, dann nennt man diese Art der Projektion — Projektionszentrum in der Kugelmitte — die gnomonische. Die Zeigerspitze unserer idealen Sonnenuhr (Bild 16) entwarf auf dem horizontalen Boden Ellipsen, eine Parabel und Hyperbeln. Diese Linien sind gnomonische Wiedergaben von Himmelslinien, nämlich der Tagbogen, die die zum Teil auch in hohe Deklinationen versetzte Sonne an der Himmelskugel beschreibt. — Eine Projektion aus einem anderen Punkt, z. B. einem auf der Kugeloberfläche gelegenen, heißt stereographisch. Eine solche ist etwa die Wiedergabe der inneren Kugelfläche, wenn wir sie, zum Südpunkt blickend, vom Nordpunkt

aus betrachten. — Bei dieser Projektion werden alle Kreise auf der Himmelskugel als Kreise abgebildet, mit Ausnahme der Kreise, deren Ebene durch das Auge geht. Die Projektionen aller Kreise schneiden einander unter demselben Winkel wie in Wirklichkeit. — Die ein-

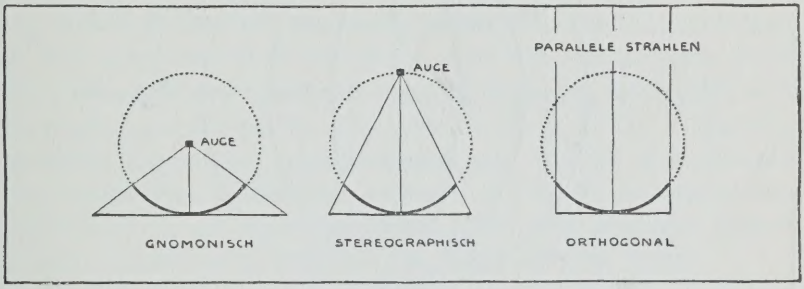


Bild 39. Dreierlei Projektionen eines Himmelsausschnittes auf eine Ebene

fachste Projektion ist die orthogonale, das Lotbild. Sie entspricht dem Anblick einer Kugel aus endloser Ferne. Hier werden z. B. auf eine Tangentialebene sämtliche Punkte einer Kugel rechtwinkelig projiziert. Ist die Karte Tangentialebene im Frühlingspunkt, dann erscheinen alle Stundenkreise als Ellipsen. Die Parallelkreise einschließlich des Äquators sind auch in der Wiedergabe zueinander parallel. Da gegen die Pole zu die Parallelkreise immer enger beieinander stehen und die Randteile der Bilder überhaupt gedrängt erscheinen, verändert man den einfachen Projektionsvorgang auf verschiedene Art.

(8) Globularprojektion. Keine unmittelbare, aber eindeutige Projektion ist die sogenannte globulare, die nur auf Halbkugeln angewendet wird. — Der Entwurf eines globularen Netzes möge auf Grund des Bildes 40 erläutert werden. Äquatorhälfte und Kolur der Sonnenwende sind hier zwei aufeinander senkrechte Durchmesser, deren jeder in 6 gleiche Teile geteilt ist. Grenzkreis ist der Kolur der Nachtgleichen. Er ist in 12 gleiche Teile geteilt. Die krummen Linien sind sämtlich Kreisbogen. So hat z. B. der 4 Uhr-Kreis seinen Mittelpunkt in der Äquatorlinie und zugleich in der Symmetrieachse der mit 4 und 90 bezeichneten Punkte. Der Parallel für + 30 Grad hat seinen Mittelpunkt in der Polarachse und zugleich in der Symmetrieachse des Punktes 30 und eines Schnittpunktes dieses Parallels mit dem Kolur der Nachtgleichen.

(9) Spitze Form. Ein vielen besonderen Überlegungen und

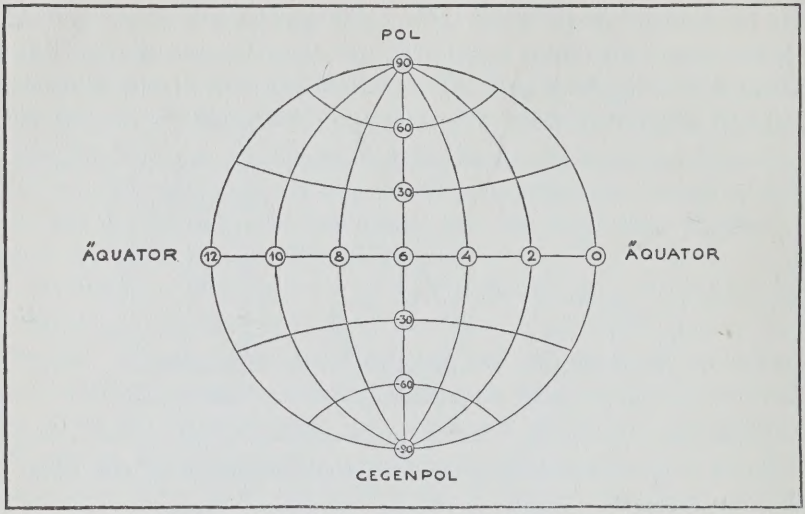


Bild 40. Abbildung des halben Himmels. Globularprojektion. Äquator und 6 Uhr-Kreis sind in gleiche Teile geteilt. Nur gerade Linien und Kreise.

Forderungen entsprechender Umriß des Kugelnetzes hat an den Polen stumpfe Winkel von 144° 41′. Die Strecke Pol-Gegenpol ist in Bild 41 in sechs gleiche Teile zu je 30 Deklinationsgraden geteilt. Von der Mitte aus, diese als Herbstpunkt angenommen, sind nach links und rechts gleiche Zweistundenstücke des Äquators aufgetragen. Am Ende rechts liegt der Frühlingspunkt. Die Zweistundenstücke

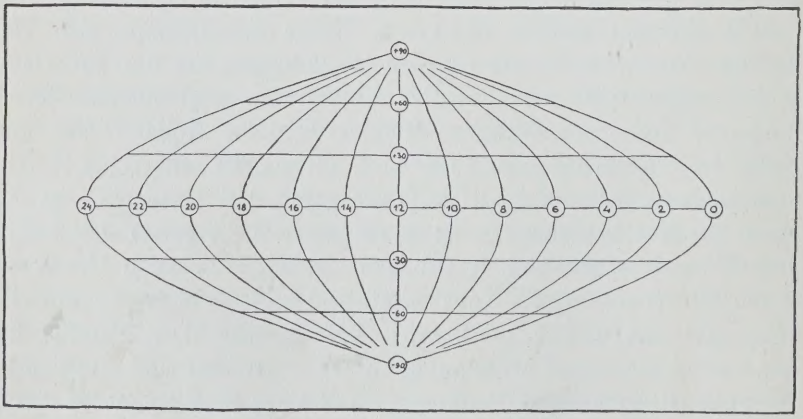


Bild 41. Abbildung des ganzen Himmels. Rektaszensionsnetz in Spitzform. Äquator waagrecht

der einzelnen Parallelkreise sind mit wachsender Deklination sovielmal kleiner als die entsprechenden Stücke des Äquators, als es dem wirklichen Verhältnis entspricht. Die Flächen der trapezartigen Elemente verhalten sich deshalb in der Figur ebenso, wie die Flächen der entsprechenden Stücke an der Himmelskugel. Man nennt die Darstellung deshalb flächentreu. Die zwölf Sicheln zwischen Pol und Gegenpol sind untereinander flächengleich. Die sich hier zeigende Äquivalenz oder Flächentreue ist eine der Anforderungen, die an Himmelswiedergaben gestellt werden. Eine zweite z. B. ist die der in Kapitel 5 erwähnten Äquidistanz oder Abstandstreue. Endlich wird mitunter Konformität oder Winkeltreue verlangt, wie sie die stereographische Projektion z. B. mit ihren der Wirklichkeit entsprechenden rechten Winkeln zwischen allen Parallel- und Stundenkreisen bietet.

(10) Elliptische Form. Will man die Spitzen vermeiden, im übrigen die Länge des Äquators und des mittleren Stundenkreises

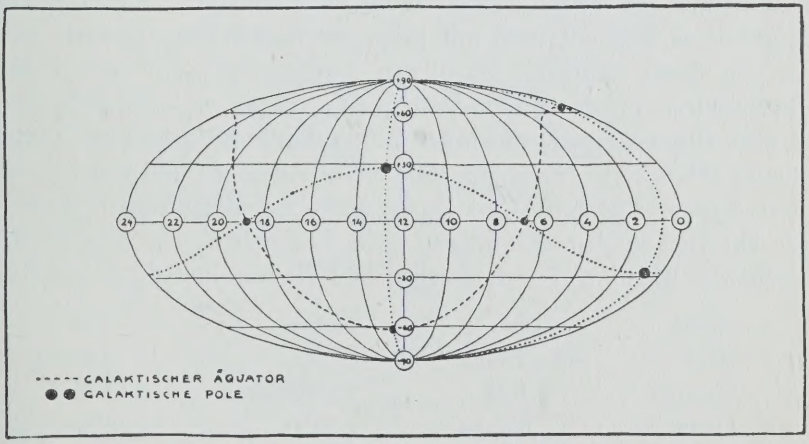


Bild 42. Abbildung des ganzen Himmels: Rektaszensionsnetz in elliptischer Form. Äquator waagrecht, Kolur der Sonnenwenden ein Kreis. Gestrichelte Linie: Milchstraßenäquator. Punktierte Linien: galaktische Breitenkreise

beibehalten und gleichzeitig auf die Flächentreue nicht verzichten, so müssen zunächst bei Beibehaltung der Äquatorteilung die geradlinigen Parallele gegen die Pole zu immer näher zusammengerückt werden. Alle Stundenkreise werden Ellipsen. Der Kolur der Sonnenwenden ist nach Bild 42 auch in der Wiedergabe ein Kreis. Die Längsachse ist wie bei der spitzen Form zweimal länger als die Querachse.

SECHSTER ABSCHNITT
STERNBILDER

Bilder und Namen / Globen und Karten / Sternbilderzonen / Milchstraße / Sterne erster Größe / Alte und neue Sternbilder / Sternsagen zu den Polarbildern / Sternsagen um Fische, Widder, Stier / Sternsagen um Zwillinge, Krebs, Löwe / Sternsagen um Jungfrau, Waage, Skorpion / Sternsagen um Schütze, Steinbock, Wassermann / Sternsagen zu den Äquatorbildern / Sternsagen zu den zenitalen Bildern / Sternsagen zu den Südbildern

(1) Bilder und Namen. Als Verbindung heller Punkte bleibt jedes Sternbild bloß Skelett, das von unserer Phantasie, wenn sie nicht verkümmert ist, belebt werden kann und muß. Wer von frühester Kindheit an Bekanntschaft mit jenen lebenden Bildern gemacht hat, ist von ihrem Sinn von vornherein durchdrungen. Er möchte die Bildkonturen und deren Mannigfaltigkeit nicht missen. — Man hat den ganzen Himmel einschließlich der Sternleeren in 88 Felder geteilt und nimmt jeden Stern für je ein Sternbild in Anspruch und benennt ihn nach diesem. Für auffälligere Sterne haben sich Eigennamen erhalten, im übrigen werden die meisten mit Buchstaben des griechischen Alphabets benannt. Deren Zeichen und Namen sind die folgenden:

α Alpha	η Eta	ν Ny	τ Tau
β Beta	ϑ Theta	ξ Xi	υ Ypsilon
γ Gamma	ι Jota	ο Omikron	φ Phi
δ Delta	κ Kappa	π Pi	χ Chi
ε Epsilon	λ Lambda	ρ Rho	ψ Psi
ζ Zeta	μ My	σ Sigma	ω Omega

Bei schwachen Sternen wird gewöhnlich nur die Nummer eines Kataloges angegeben, in dem der Stern und seine Koordinaten zuverlässig verzeichnet sind. Man ist auf die Beibehaltung der Sternbilder praktisch angewiesen. Notwendig sind die naiven Konturen zwar nicht, spricht aber jemand von den Gürtelsternen des Orion, dann muß er es wohl auch übers Herz bringen können — will er nicht unkonsequent sein — sich wirkliche entsprechende himmlische Umrißlinien

gefallen zu lassen. Mangelnde Übereinstimmung von Kontur und, wenn wir so sagen dürfen, anatomischer Anpassung ist wohl die Ursache davon, daß die Sternkarten mit figuralen Darstellungen in Mißkredit und zum Teil in Vergessenheit geraten sind.

Bild 43. Schematische Sternkarte. Pol in der Mitte des zentralen Kreises. Bei 19 Uhr Sternzeit z. B., mit Hilfe des Kolursternes am Himmel ablesbar, muß beim Blick nach Norden 19 oben, beim Blick nach Süden 19 unten sein.

(2) Globen und Karten. Ein Himmelsglobus ist ein „wirklicher" Himmel für den, der es versteht, sich in die Mitte der Kugel als nulldimensionales Wesen hineinzudenken. Ein wundersamer Globus ist der, in den man regelrecht hineingehen kann, das optische Zeißplanetarium. Der beste Himmelsglobus aber ist und bleibt das wolkenlose, wirkliche Himmelsgewölbe selbst. Entsprechend der

doppelten Art der Globen — Himmel von außen und Himmel von innen — gibt es auch Sternkarten zweifacher Art. Bei den einen läuft der Löwe für das betrachtende Auge nach links, das sind die weniger zu empfehlenden Darstellungen, die allerdings für die gewöhnlichen Globen die einzig möglichen sind. Auf den anderen Karten — sie sind in unserem Buch hier einzig und allein angewandt — läuft der Löwe nach rechts. Es ist dies nur ein lustiges äußeres Merkmal, das aber auf den ersten Blick schon nie versagt. Die Hauptsache ist, daß wir uns nie im unklaren sind, ob wir unser Auge bei Betrachtung der Karte innerhalb — oder außerhalb des Himmels befindlich denken müssen. — Sternkarten sind im Grunde genommen nach bestimmten Regeln verfertigte Abbildungen von Sterngloben oder von deren Teilen, oder graphische Wiedergaben direkter, astronomisch gemessener Sternkoordinaten unter Hinzufügung der Sternhelligkeiten, in vollendeter Form direkte photographische Wiedergaben von Himmelsteilen, wie z. B. unsere Bildtafel XVI. Ein einfacher Himmelsatlas oder eine gute, gegebenenfalls eine sogenannte drehbare Sternkarte, die für die verschiedenen Tage und Stunden des Jahres die sichtbaren Himmelsausschnitte zeigt, mögen bei all unseren Hinweisen auf Sternbilder zu Rate gezogen werden. Bild 43 kann als vorläufiger Ersatz einer Karte angesehen werden.

(3) Sternbilderzonen. Wir teilen die 88 Sternbilder in

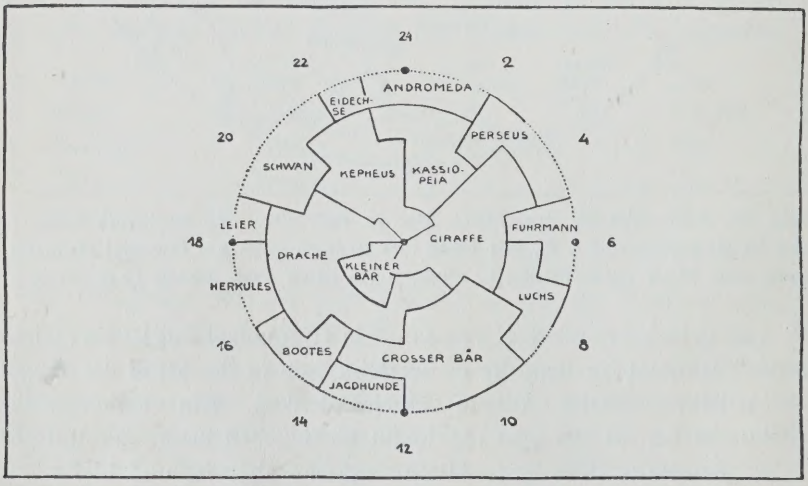


Bild 44. Schematische Verteilung der Polarbilder nach Zehngradstunden

sieben Zonen ein. Zunächst ergeben die für uns zirkumpolaren Bilder eine solche, eine weitere die Bilder im Tierkreis, dann eine die äquatorialen und eine vierte Zone solche Bilder, deren Bereich sich für unsere Gegend bis zum Zenit erstreckt. Eine fünfte Zone enthält die südlicheren, eine sechste die nur knapp im Dunst des Horizontes sich zeigenden, während die letzte Zone die bei uns unsichtbaren Bilder umfaßt, die wir hier nur aufzählen. Die Verteilung der Bilder auf die einzelnen Zonen und die Reichweite der Zonen zeigt die Tabelle hier:

Zone	Gebiet in Deklinationsgraden	Breite in Graden	Anzahl der Bilder
I Polarbilder	+ 40 bis + 90	50	9
II Tierkreisbilder	— 40 „ + 40	80	12
III Äquatorbilder	— 10 „ + 10	20	11
IV Zenitalbilder	+ 10 „ + 40	30	15
V Südbilder	— 30 „ — 10	20	7
VI Horizontbilder	— 40 „ — 30	10	7
VII Gegenpolbilder	— 90 „ — 40	50	27
I—VII	— 90 bis + 90	180	88

Ein vollständiges Sternbilderverzeichnis mit den deutschen und lateinischen Namen, sowie dreiletterigen Zeichen für jedes Bild enthalten unsere Himmelstafeln. — Die Grenzen der einzelnen Sternbilder sind durch Rektaszensions- und Deklinationsangaben definiert,

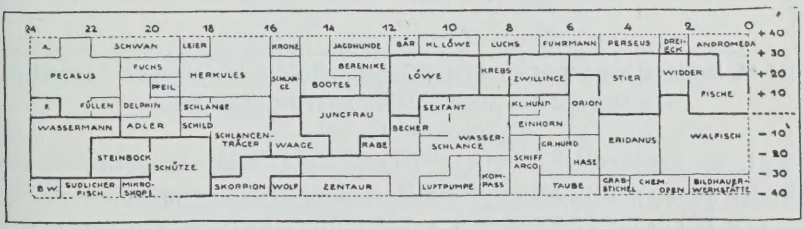


Bild 45. Schematische Verteilung der Sternbilder des Äquatorgürtels nach Zehngradstunden. Tierkreisbilder stärker eingerahmt

sie sind den figuralen Umrissen der menschlichen, tierischen und sonstigen Himmelsfiguren angepaßt, doch, wenn auch aus guten praktischen Gründen, oft sehr gekünstelt gezogen. — Teilen wir den Himmel in lauter Flächen von der Ausdehnung von 10 Grad Dekli-

nation und 1 Stunde Rektaszension und ordnen jedes dieser Felder dem Sternbilde zu, das innerhalb dieses Stückes an Fläche über-

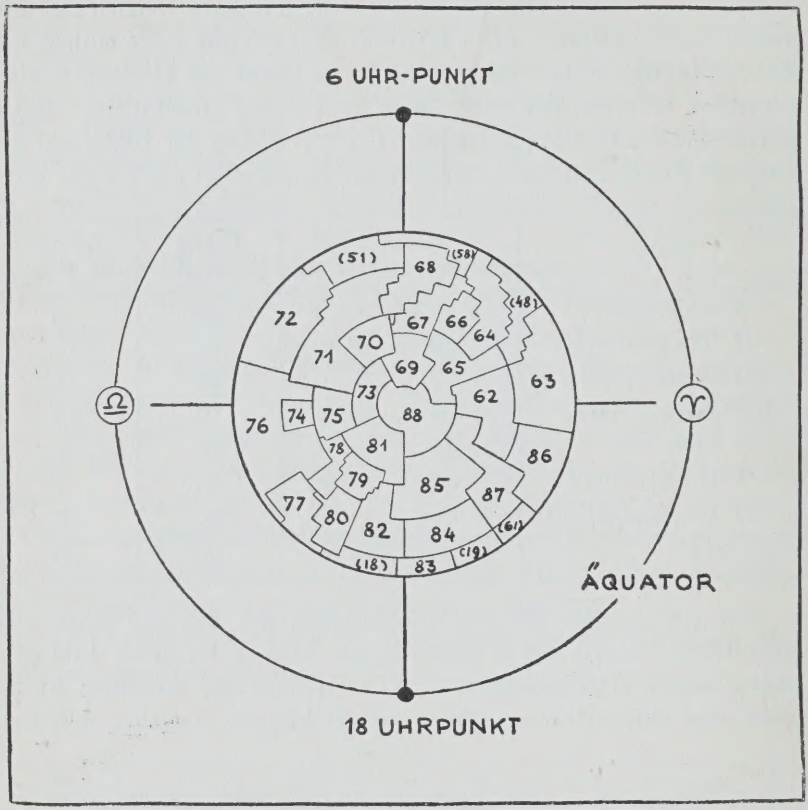


Bild 46. Schematische Verteilung der Gegenpolbilder. Die Nummern beziehen sich auf das Sternbilderverzeichnis Seite 134

wiegt, so ergeben sich unsere Übersichten nach Zehngradstunden (Bilder 44, 45). Bild 46 zeigt die Verteilung der Gegenpolbilder.

(4) Milchstraße. Sie enthält vierzehn von den insgesamt zwanzig Sternen erster Größe, zwei sind ihr nahe und nur vier, Fomalhaut im südlichen Fisch, Spika in der Jungfrau, Regulus im Löwen und Arkturus im Bootes, stehen außerhalb der Linien, die man für das freie Auge als „Konturen" der Milchstraße (Bild 47) ansehen darf. Der Milchstraßenäquator schneidet den Himmlesäquator im Adler (18.40 + 00) — der Schnittpunkt ist der galaktische Null-

punkt — ein zweites Mal im Einhorn (6.40 + 00), erreicht in der Kassiopeia den nördlichsten (0.40 + 62), im Südlichen Kreuz (12.40 — 62) den südlichsten Stand. Die sonstigen von der Milchstraße hauptsächlich bestrichenen Sternbilder — in der Ekliptik Zwil-

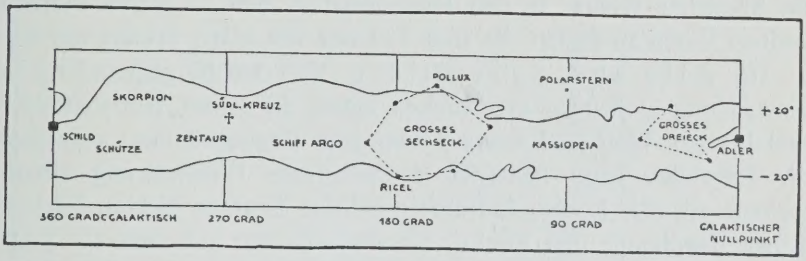


Bild 47. Ungefähre Grenzen der mit freiem Auge sichtbaren Milchstraße.

linge und Schützen — gibt unser Milchstraßenschema (Bild 48) wieder.

(5) Sterne erster Größe. Die 20 Sterne erster Größe sind, nach den scheinbaren Helligkeitsstufen geordnet, folgende: Sirius, Kanopus, Toliman, Wega, Kapella, Arkturus, Rigel, Prokyon,

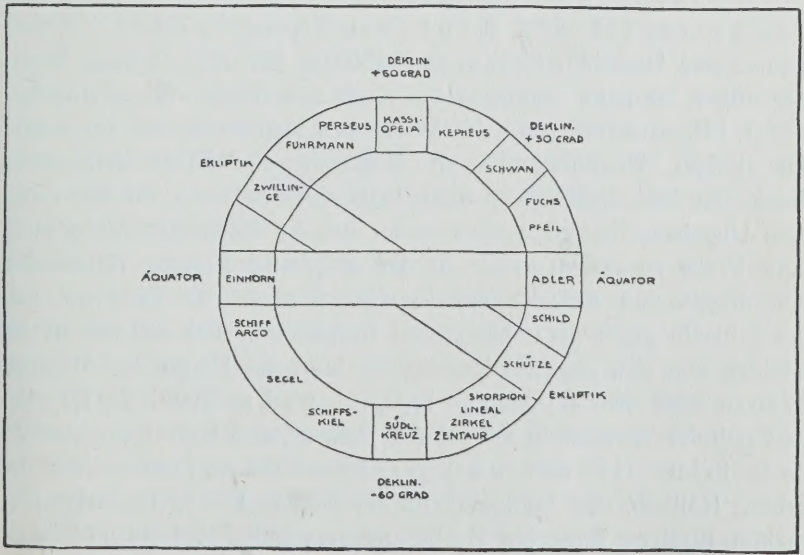


Bild 48. Rundschema des Milchstraßenzuges. Gesehen aus dem Sternbilde des Haares der Berenike

Achernar, Beta im Zentauren, Atair, Beteigeuze, Alpha im Südlichen Kreuz, Aldebaran, Pollux, Spika, Antares, Fomalhaut, Deneb und Regulus. Von diesen sind in unserer Gegend folgende fünf nicht sichtbar: Kanopus, Toliman, Achernar, Beta im Zentauren und Alpha im Südlichen Kreuz. In den Himmelstafeln sind zu diesen Sternen weitere Daten zu finden, die zum Teil erst viel später erklärt werden.

(6) Alte und neue Bilder. Von den 88 gegenwärtig in Anwendung stehenden Sternbildern haben die sieben Horizontbilder und bis auf Wolf und Zentaur sämtliche Gegenpolbilder, außerdem die folgenden neun keinerlei mythologische Überlieferung aufzuweisen: Giraffe, Luchs, Eidechse, Einhorn, Sextant, Schild, Kleiner Löwe, Jagdhunde und Fuchs. Sie sind alle erst seit dem 17. Jahrhundert eingeführt. Bei den alten Sternbildern haben es große Mannigfaltigkeit und mangelnde Übereinstimmung der Sagen und Berichte mit sich gebracht, daß eine vollständige systematische Sagensammlung kaum besteht. Wir geben hier gedrängt diejenigen mythologischen Wendungen wieder, die uns hinsichtlich ihrer Einfachheit und konkreten Verwendbarkeit zur Deutung der Bilder am ehesten zusagten.

(7) Sternsagen zu den Polarbildern.

Kassiopeia und Kepheus: Kepheus ist König in Äthiopien. Seine Gemahlin Kassiopeia prahlt im Gespräch fünfzig Nixen gegenüber, sie habe schöneres Haar, als alle Nixen. Diese sind beleidigt, klagen Kassiopeia beim Meeresgott Neptun an, der zur Strafe ein riesiges Ungeheuer, einen Walfisch, die Küste Äthiopiens blockieren läßt. Nach dem Ausspruch eines Sehers kann das Land vom Ungeheuer befreit werden, wenn ihm die Prinzessin Andromeda zum Fraße ausgesetzt wird. In der Not wird Perseus Retter der Andromeda und Befreier des Landes. Perseus: Er kehrt aus der Schlacht gegen die unheimlichen Gorgonen zurück und hält in der Linken, von sich abgewendet, das fürchterliche Haupt der Medusa. Wessen Blick dem der Medusa begegnet, wird zu Stein. So verwandelt sich der Walfisch in toten Fels. Perseus wird Bräutigam, Andromeda Braut. Großer und Kleiner Bär: Jupiter liebt die schöne Kallisto, eine Jagdgefährtin der Diana. Die eifersüchtige Gemahlin Jupiters, Juno, übt Rache und verwandelt Kallisto und deren Sohn Arkas in Bären. Damit nicht genug, die Verzauberten müssen ständig im Kreis um den Himmelspol laufen, ohne auch nur einen

Augenblick sich im Ozean erfrischen zu dürfen. Drache: In einem großen Garten in der Nähe des Atlasgebirges bewachen die Hesperiden die goldenen Äpfel der Göttin Juno. Ein hundertköpfiger

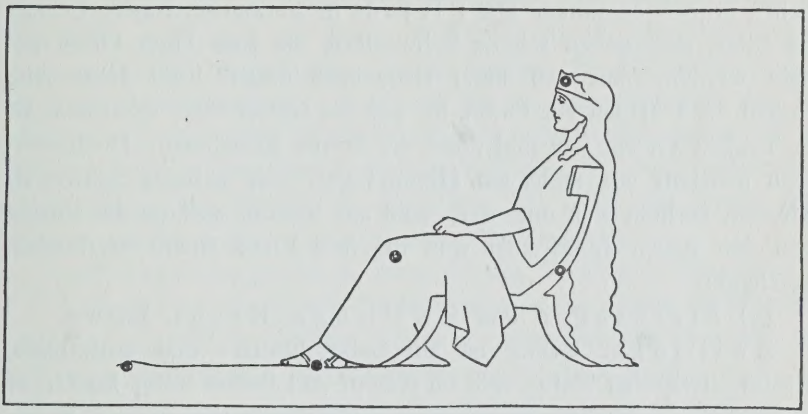


Bild 49. Sternbild der Kassiopeia. Dem großen „W" angepaßte Umrißlinien. Am Kopf der Kolurstern. Mit Bild 17 und Bild 190 zu vergleichen

Drache ist bestellt, um alle Nahenden zu verscheuchen. Herkules allein kann das Ungeheuer bezwingen.

(8) Sternsagen um Fische, Widder und Stier. Fische: Die Liebesgöttin Venus geht mit Amor am Euphrat spazieren. Sie erblicken plötzlich den Riesen Typhon, werfen sich vor Schreck in die Fluten und verwandeln sich in Fische. Widder: Die Wolkengöttin Nephele liebt den Herrscher von Orchomenes und schenkt ihm zwei Kinder, Phrixos und Helle, verläßt jedoch diesen ihren Geliebten, weil er mit einer Sterblichen, der Prinzessin Ino, eine Verbindung eingeht. Diese will von den Kindern der Wolkengöttin nichts wissen und veranlaßt durch einen gefälschten Orakelspruch, daß Phrixos und Helle geopfert werden. Es erscheint ein goldwolliger Widder, der die Kinder durch die Lüfte entführt. Hiebei fällt Helle ins Meer. Nach ihr erhält der Hellespont seinen Namen. Stier: Europa, eine phönizische Königstochter, spielt am Strand. Es kommt ein blendendweißer Stier, der übrigens durch seine Zahmheit auffällt. Europa schwingt sich auf den Rücken des Stieres, der sich mit seiner schönen Beute ins Meer stürzt und diese auf die Insel Kreta bringt. Der Stier ist kein Geringerer als Gott Jupiter, der sich nun als schöner Jüngling der Europa zu erkennen gibt. Die

Hyaden beweinen ihren Bruder Hyas, den eine Schlange getötet hat. Die vielen Tränen bedeuten Regen. Die Hyaden sind so das Regengestirn. Wenn es aufgeht, wissen die Schiffer, daß die herbstlichen Stürme beginnen. Die Plejaden, die zweite, engere Gruppe im Stier, sind sieben schöne Schwestern, die vom Jäger Orion geliebt werden, ohne daß dieser Gegenliebe findet. Fünf Jahre lang fliehen die Plejaden vor Orion, bis sich die Götter ihrer erbarmen, sie in Tauben verwandeln und unter die Sterne aufnehmen. Doch sieht man meistens nur sechs am Himmel gut. Die siebente Schwester, Merope, verhüllt sich mitunter, wohl aus Scham, weil sie die einzige von den sieben Jungfrauen war, die ihre Liebe einem Sterblichen geschenkt.

(9) Sternsagen um Zwillinge, Krebs, Löwe.

Zwillinge: Pollux ist ein Sohn Jupiters und unsterblich, Kastor, sterblicher Natur, fällt im Kampf und Pollux bittet Jupiter, er

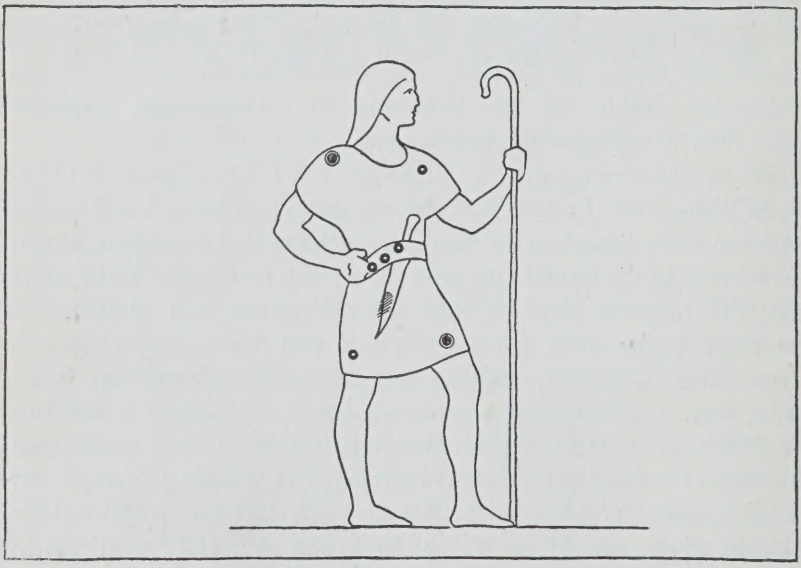


Bild 50. Orion als Hirte. Umrißlinien. Hirten waren vermutlich die ersten Entdecker oder Erfinder der Sternbilder. Zu vergleichen mit Bild 22 und Bild 23

möge seinem so sehr geliebten Bruder auch olympische Unsterblichkeit verleihen. Jupiter verweigert dies, stellt es aber Pollux anheim, entweder allein im Olymp zu bleiben, oder abwechselnd je einen Tag

im Olymp, den anderen in Gesellschaft des Bruders in der Unterwelt zuzubringen. Pollux entscheidet sich für das letztere und zur ewigen Erinnerung an diese innige Geschwisterliebe werden die Brüder unter die Sterne versetzt. Krebs: Jupiter verfolgt eine reizende Nymphe. Sie flieht, wird aber von einem großen Krebs am Ufer mit dessen langen Scheren festgehalten. Jupiter belohnt den Helfershelfer und setzt ihn ans Firmament. Löwe: Es ist der nemeische, der im Peloponnes arg wütet. Kein Speer kann seine Haut durchdringen. Herkules drängt den Löwen in dessen Höhle zurück und erwürgt ihn. Juno gönnt dem Helden die rühmliche Tat nicht und nimmt den Löwen, um Herkules zu ärgern, unter die Sterne auf.

(10) Sternsagen um Jungfrau, Waage, Skorpion.

Jungfrau. Sie ist eine Tochter Auroras, der Göttin der Morgenröte, und wandelt im goldenen Zeitalter ganz unter den Menschen, im silbernen zeigt sie sich nur selten, um schließlich in der heutigen Zeit die böse Welt ganz zu meiden und unter den Sternen zu wohnen, wo sie sich nur in klaren Sommernächten erblicken läßt und auch nur für

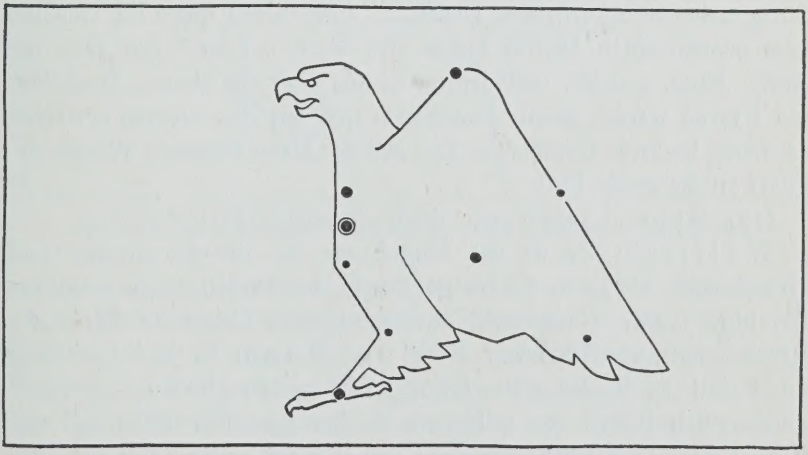


Bild 51. Sternbild des Adlers. Umrißlinien. Es werden mitunter auch nur die drei Sterne an der Brust als „fliegender Adler" dargestellt. Hellster Stern ist Atair. Zu vergleichen mit Bild 20

den, der Herz und Sinn für die schönen Sterne hat. Waage: Sie gehört der Göttin der Gerechtigkeit. Diese wird mitunter mit der neben dem Sternbild der Waage stehenden Jungfrau identifiziert. Früher zählten die hellen Sterne der Waage als Scherenspitzen zum himm-

lischen Skorpion (Bild 61). Skorpion: Er sticht den Jäger Orion auf Geheiß der Jagdgöttin Diana zu Tode. Orion und Skorpion sind nie zu gleicher Zeit sichtbar. Der Skorpion erhebt sich erst über den Horizont, wenn Orion untergeht, und wenn Orion aufgeht, verschwindet jener.

(11) Sternsagen um Schütze, Steinbock, Wassermann.

Schütze: Er ist der Erfinder der Bogenwaffe, zugleich ein großer Verehrer der Musen, deren Gesang er oft mit unendlicher Begeisterung lauscht, so daß diese ihn schließlich aus Dankbarkeit unter die Sterne erheben. Steinbock: Er stellt den Waldgott Pan dar. Dieser flieht vor dem Riesen Typhon. Um unerkannt entkommen zu können, verwandelt er sich in einen Ziegenbock mit Fischleib. Der Einfall gefällt den übrigen Göttern so gut, daß sie die seltsame Tiergestalt unter die Sterne versetzen. Wassermann: Deukalion ist mitsamt seinem Weibe Pyrrha aus der Sintflut gerettet. Die Götter versprechen ihm, seinen Wunsch nach einem neuen, besseren Menschengeschlecht zu erfüllen. Deukalion und Pyrrha sollen die Gebeine ihrer gemeinsamen Mutter hinter sich werfen. Damit war Gäa, die Mutter Erde, gemeint und deren Gebeine sind die Steine; Deukalion und Pyrrha werfen solche hinter sich und aus den Steinen erwächst ein neues, besseres Geschlecht. Das aus der Urne fließende Wasser erinnert an die große Flut.

(12) Sternsagen zu den Äquatorbildern.

Walfisch: Er ist das Ungeheuer aus der Kassiopeia- und Perseussage. Orion: Orion ist der in der Plejadensage erwähnte gewaltige Jäger. Nach wohl älterer Sage ist Orion ein Hirte, die Sterne Schafe und Lämmer. Kleiner Hund: Er und der Große Hund sind die Begleiter des Orion. Wasserschlange: Apollo sendet einen Raben mit goldenem Becher aus. Der Rabe soll von weither frisches Wasser holen, labt sich aber auf seiner Reise an einem Feigenbaum. Nach endlos verspäteter Rückkehr lügt der Rabe dem Apollo vor, eine enorme Wasserschlange habe ihn lange Zeit gehindert, den göttlichen Befehl auszuführen. Schlangenträger und Schlange: Der Schlangenträger oder Ophiuchus ist Äskulap, der Meister aller Heilkünste. Eine Schlange bringt ihm auf Geheiß ein Kraut, durch das er Wunder tun und sogar Tote wieder zum Leben erwecken kann. Adler: Auf Befehl des Jupiter raubt der

Adler den schönen Knaben Antinous und bringt ihn auf den Olymp, wo er Mundschenk der Götter wird. Füllen: Es ist ein Geschenk Merkurs an Kastor.

(13) Sternsagen zu den zenitalen Bildern.

Andromeda: Sie ist die Heldin der Perseussage. Dreieck: Es ist das Sinnbild des Nildeltas. Fuhrmann: Der Fuhrmann ist kein Geringerer, als König Erichthonius. Er erfindet den Wagen und

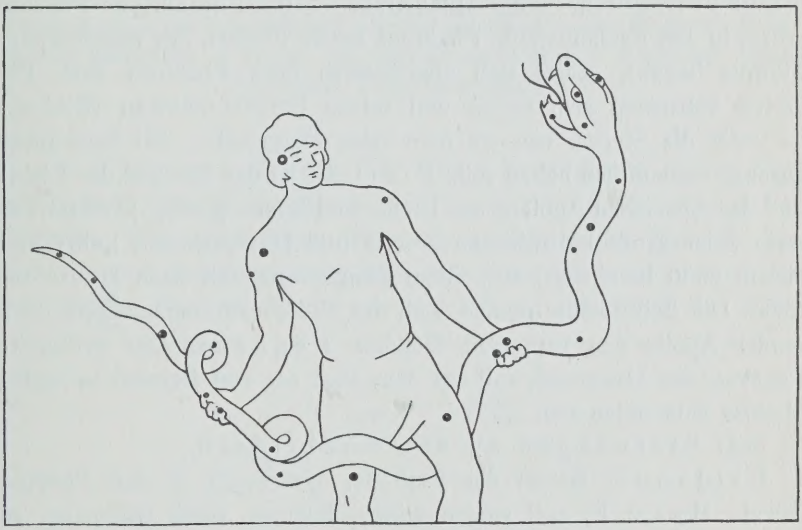


Bild 52. Sternbilder Schlangenträger und Schlange. Umrißlinien

spannt als Erster Rosse ein. Die Ziege Kapella, die der Fuhrmann in der Hand hält, gibt Milch dem neugeborenen Jupiter. Eines ihrer Hörner — ein winziges Dreieck bei Kapella — besitzt Zauberkraft. Was man sich wünscht, erscheint im Horn. Haar der Berenike: Die ägyptische Prinzessin Berenike opfert, um die Götter zur Verleihung eines Sieges günstig zu stimmen, ihr langes goldenes Haar und legt es im Tempel nieder. Hier verschwindet es eines Tages, wird aber vom Astronomen Konon am Himmel als Sternhaufen entdeckt. Bootes: Bootes, ein Rinderhirt, wird auch als Bärentreiber beschrieben. Krone: Ariadne verhilft Theseus dazu, den Minotaurus — ein Ungeheuer, halb Mensch, halb Stier — im Labyrinth auf Kreta zu erlegen. Ariadne erhält für ihre Tat von Venus ein prachtvolles Brautgeschenk: die Krone, mit Gemma, dem Edelstein. Herkules:

Herkules ist der Sohn Jupiters und der Alkmene, aus dem Geschlecht der Perseiden. Leier: Merkur spannt Saiten über den Rückenschild einer Schildkröte und erfindet so die Leier. Sie kommt in den Besitz des berühmten Sängers Orpheus, dessen Spiel selbst die wildesten Tiere des Waldes besänftigt. Schwan: Der kleine Phaëton, Sohn des Sonnengottes, übernimmt von seinem Vater die Leitung des Sonnenwagens. Die Rosse scheuen. Der dahinsausende Wagen brennt Feuerspuren — die Milchstraße — ins Firmament. Phaëton stürzt in den Eridanusfluß. Phaëtons bester Freund, mit wundervoller Stimme begabt, grämt sich unermeßlich über Phaëtons Tod. Die Götter erbarmen sich seiner und setzen ihn als Schwan (Bild 20) — unter die Sterne, von wo man seine Klagelieder, den Schwanengesang, vernommen haben soll. Pfeil: Er ist das Sinnbild des Lichts und das Abzeichen Apollos, des Licht- und Sonnengottes. Delphin: Arion, der große korinthische Sänger und Harfenspieler, kehrt, mit vielem Gold beschenkt, aus einem Sängerwettstreit nach Hause zurück. Die Schiffsleute planen, sich des Goldes zu bemächtigen, doch sendet Apollo den rettenden Delphin. Pegasus: Der geflügelte Pegasus, das Musenroß, soll aus dem Blut der von Perseus besiegten Medusa entstanden sein.

(14) Sternsagen zu den Südbildern.

Eridanus: Er ist der Fluß der Unterwelt, in den Phaëton stürzt. Hase: Er soll wegen seines Talentes, rasch dahineilen zu können, vom Götterboten Merkur unter die Sterne versetzt worden sein. Großer Hund: Er wurde als Begleiter des Orion schon erwähnt. Schiff Argo: Phrixos, der Bruder der Helle, hängt im Areshain das goldene Widdervlies an einer Eiche auf. Um es zu holen, unternimmt später Jason den berühmten Argonautenzug auf dem Schiffe Argo. Rabe und Becher: Sie sind gelegentlich der Sage von der Wasserschlange erwähnt worden. Südlicher Fisch: Dieser Fisch hat einst die ägyptische Königin Isis aus dem Wasser errettet.

SIEBENTER ABSCHNITT

PRÄZESSION DER STERNE

Platonisches Jahr / Dreierlei Himmel / Verschiebung der Tierkreisbilder / Äonendrehung der Sternenkugel / Koordinatenänderung / Drachenscheibe / Begriff Polarstern / Orion als Sommernachtsbild / Zweierlei Jahre / Nutation / Lunisolarpräzession

(1) Platonisches Jahr. Wenn die Ekliptik steilste Lage hat, decken sich Frühlingspunkt und Westpunkt. Es ist dann 6 Uhr Sternzeit. Wir fassen einen Stern, der gerade in der Ekliptik links oberhalb vom Frühlingspunkt liegt, ins Auge. Wir nehmen an, daß wir beliebig lang leben könnten und alle 72 Jahre uns den tiefen

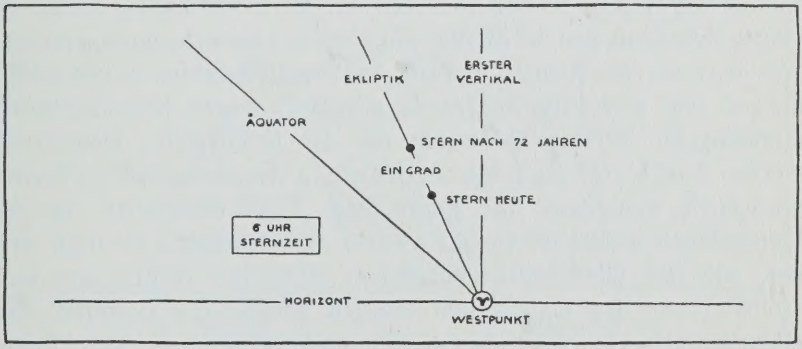


Bild 53. Präzession. Ekliptikstern heute und nach 72 Jahren

Westhimmel vom selben Standort aus, stets um 6 Uhr Sternzeit, ansehen könnten. Himmelsäquator und Ekliptik würden wir zunächst unverändert finden, doch wäre nach 72 Jahren der Stern von seinem heutigen Ort in der Ekliptik weggewandert, und zwar so, daß sich seine Entfernung vom Frühlingspunkt, seine Ekliptiklänge, um einen Grad vergrößert hat. Alle 72 Jahre — die Zahl ist abgerundet — wandert unser Stern je einen Grad weiter. Er würde also in 360 mal 72 Jahren um die ganze Ekliptik laufen. Das sind rund 26 000 Jahre,

genauer 25 765 Jahre. Diesen Zeitraum nennt man ein Platonisches Jahr. Ist ein Stern heute im Frühlingspunkt, so ist er nach einem viertel Platonischen Jahr, in 6500 Jahren, im Sommerpunkt, nach 13 000 Jahren im Herbstpunkt, nach 19 500 Jahren im Winter- und nach 26 000 Jahren wieder im Frühlingspunkt.

(2) Dreierlei Himmel. Diese langsame Bewegung findet stets relativ zu dem Himmelsnetz, das rotierenden Äquator und Ekliptik umfaßt, statt, ein System, das wir bisher immer das rotierende hießen. So wie obiger Stern, so laufen auch alle anderen Ekliptiksterne in 26 000 Jahren einmal um. Ja, sämtliche Sterne bilden sozusagen für sich eine besondere Kugel, die sich unabhängig von dem vorhin genannten täglich und jährlich rotierenden Kugelnetz bewegt. Wir müssen deshalb von nun an dreierlei unterscheiden: 1. die ruhende Himmelskugel, 2. die rotierende Himmelskugel im engeren Sinn, mit täglicher und jährlicher Drehung, die wir nun nach der früheren Ankündigung ausdrücklich Kolursphäre oder Kolurhimmel nennen wollen, und endlich, unabhängig von diesen beiden Kugeln, 3. die Sternenkugel, die sich nur in Äonen um die Ekliptikachse dreht. In langer Zeit lösen sich die Sterne vom Netz des Kolurhimmels, also insbesondere von den Koluren und von den Äquatorpunkten los und bilden für sich eben eine dritte Sphäre, die allerdings wegen ihrer langsamen Drehung für beliebige Momente mit der Kolursphäre identifiziert werden darf. Unter der später zu prüfenden Annahme, daß die Sterne tatsächlich wenigstens ihre gegenseitige Lage beibehalten, ist die Sternenkugel wieder als starres System zu betrachten. Es fragt sich nur, wie sich diese Sternenkugel nun tatsächlich relativ zum Koordinatennetz des täglich und jährlich rotierenden Himmels, des Kolurhimmels, bewegt oder anders ausgedrückt, wie sich Rektaszensionen und Deklinationen der Sterne ändern.

(3) Verschiebung der Tierkreisbilder. In der Ekliptikgegend gleiten alle Sterne, auch die der zwölf Tierkreisbilder, entlang der Ekliptik oder parallel zu ihr. Um die Vorstellung zu erleichtern, mögen wir immer und immer nur den Zustand: „6 Uhr Sternzeit, Blick zum Westpunkt, Frühlingspunkt im Westpunkt“ im Auge haben. Wenn heute die Fische zwischen 0 und 30 Grad Ekliptik stehen, sind sie nach einem Zwölftel des Platonischen Jahres, also nach rund zweitausend Jahren, zwischen 30 und 60 Grad Länge, nach abermals zweitausend Jahren zwischen 60 und 90 Grad Länge usw., oder,

wenn heute der Widder zwischen 30 und 60 Grad steht, was tatsächlich der Fall ist, stand er vor rund zweitausend Jahren — als Ptolemäus das erste große Handbuch der Astronomie schrieb — zwischen 0 und 30 Grad. Und deshalb nennt man dies Ekliptikstück heute noch das „Zeichen des Widders", trotzdem heute dort die Fische stehen. So ist es historisch zu verstehen, weshalb im Gegensatz zur Zeit vor 2000 Jahren, wo Zeichen und Sternbild zusammenfielen, heute das Sternbild ganz abseits seines ursprünglich mit ihm verbundenen Zeichens steht (Bild 33).

(4) Äonendrehung der Sternenkugel. Der eben geschilderten Bewegung, parallel zur Ekliptik, kann unter der Annahme einer starren Sternkugel nur eine Gesamtdrehung um die Ekliptikachse entsprechen, u. zw. eine Drehung im Sinne der wachsenden Ekliptiklängen, für den nach Süden Blickenden von rechts nach links, für den zum Drachen Blickenden im Sinne eines Turmuhr-

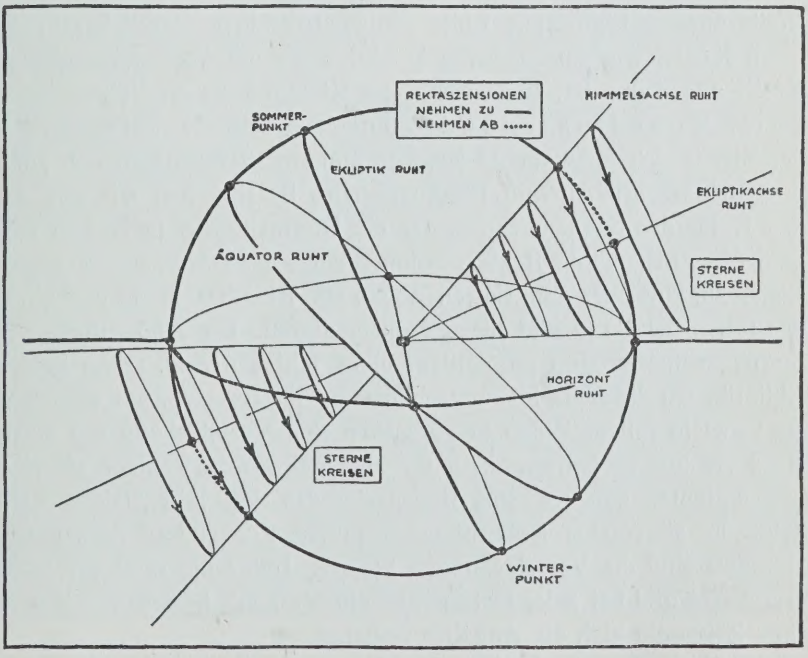


Bild 54. Präzessionsmodell. Der Kolurhimmel mit Äquator und Ekliptik ruht. Die Sterne kreisen in 26 000 Jahren einmal um die Ekliptikachse. Die kräftige waagrechte Linie bedeutet den Horizont.

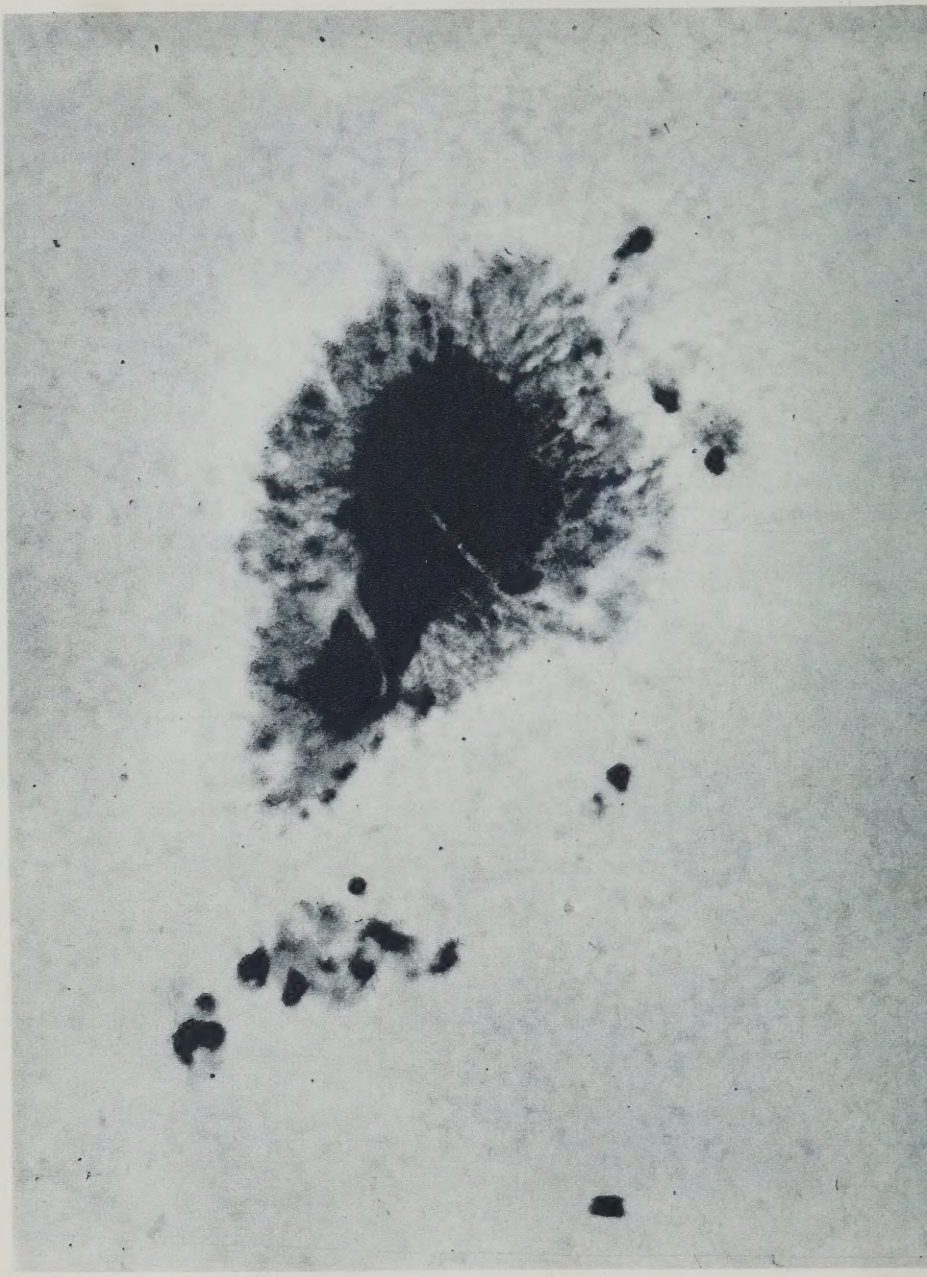
zeigers. Wir wollen diese Drehung Präzession der Sterne oder Präzession der Sternenkugel nennen. Bild 54 soll als Modell aufgefaßt werden. Bei Hochlage der Ekliptik ist deren Pol 23½ Grad unter dem Himmelspol, in dessen Nähe sich der Polarstern befindet. Wir müssen allerdings vorsichtig „der heutige Polarstern" sagen. Denn, wenn sich die „Kugel aller Sterne" dreht, so werden eben alle Sterne, auch der Polstern, mitgenommen. Eine Ausnahme könnte nur ein Stern machen, der mathematisch genau im Ekliptikpol liegt. — In unserem Modell ist die Ekliptikachse als neue Drehachse besonders hervorgehoben. Betrachten wir einzig und allein die Momente „6 Uhr Sternzeit, Frühlingspunkt im Westpunkt", wie es unser Modell verlangt, so bleibt die Himmelsachse bei der gegebenen Polhöhe nur als Rotationsachse der täglichen Bewegung bestehen, von der wir hier grundsätzlich absehen. Die Sterne in der Nachbarschaft eben dieser Achse beschreiben — zusammen mit den anderen Sternen — die 26 000jährige Wanderung um den Ekliptikpol im Drehsinne der vielen Pfeile unserer Figur. Die Linie „Auge-beliebiger Stern" beschreibt einen Kegel, wie ein solcher z. B. durch die mit Pfeilen versehenen Kreise angedeutet ist, und zwar in der Richtung dieser Pfeile.

(5) Koordinatenänderung. So wie die Ekliptiklängen der Sterne sich fortwährend langsam ändern, so verändern sich auch ihre Rektaszensionen und Deklinationen. Beschränken wir uns auf den Kolur der Sonnenwenden, der die Himmelskugel in Bild 54 einschließt, so nehmen die Rektaszensionen längs der kräftig ausgezogenen Linien zu, längs der punktierten Bogen ab. Eine Tabelle in den Himmelstafeln Seite 132 gibt hiezu Zahlenmaterial. Die Änderungen der Sternkoordinaten sind im Zeitlauf eines Jahres gering, selbst in der Ekliptik, wo die Verschiebungen, in Graden gemessen, am stärksten ins Gewicht fallen. Wenn in 72 Jahren eine Verschiebung um einen Grad erfolgt, so beträgt diese für ein Jahr etwas weniger als eine Bogenminute, genauer 50,3 Bogensekunden im Jahr. Diese Zahl heißt die allgemeine Präzessionskonstante. Für andere Stellen des Himmels sind die Verschiebungen kleiner. Immerhin muß auf jeder Sternkarte und bei jeder Ortsangabe ein Vermerk bestehen, auf welchen Zeitpunkt sich die Angaben beziehen.

(6) Drachenscheibe. Zur Veranschaulichung der Vorgänge in der Gegend des Pols und des Ekliptikpols ziehen wir um den letzteren einen Kreis mit 23½ Grad Halbmesser durch den Himmels-

Zweipolige Sonnenfleckengruppe (Mount Wilsonsternwarte)

TAFEL IV



Großer Sonnenfleck (Yerkessternwarte)

TAFEL V

pol hindurch (Bild 55). Kleiner Bär und besonders Drache beherrschen diesen Kreis, den wir mitsamt den Sternen darauf „Drachenscheibe" nennen wollen. Wir stellen sie uns als Modell mit Sternen bemalt und solid um den Ekliptikpol drehbar vor. Die Drehrichtung ist die des

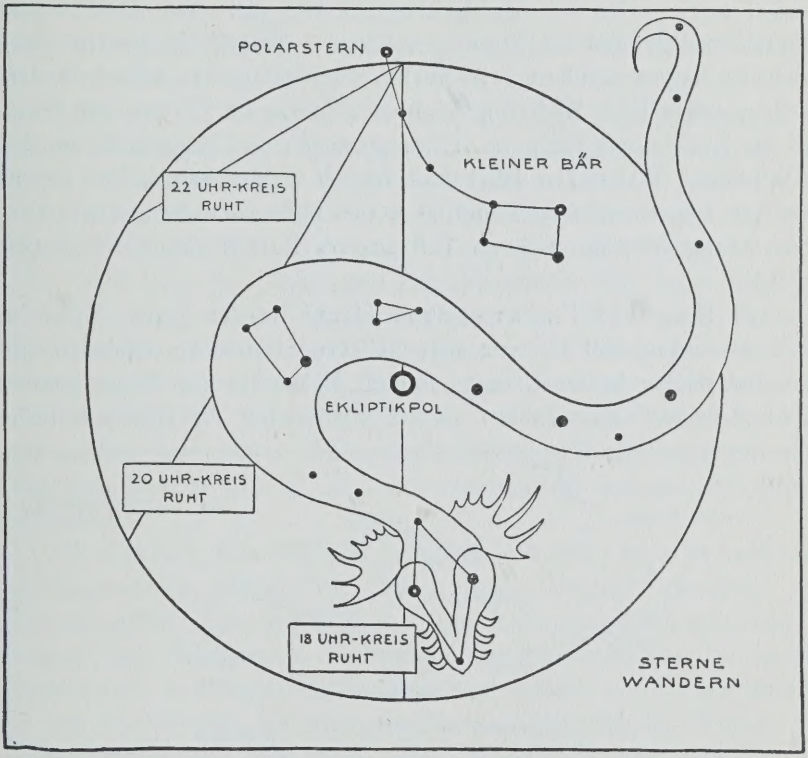


Bild 55. Drachenscheibe. Ergänzung zu Bild 54. Pol, Äquator, Ekliptik ruhen. Jeder Stern in der Scheibe und außerhalb derselben kreist in der Drehrichtung des Turmuhrzeigers um den Ekliptikpol. Polarstern wandert. Die Stundenkreise gehören dem Kolurhimmel an.

Turmuhrzeigers. Dabei kann der Rhombus im Drachenkopf als Zeigerspitze eines sich um den Ekliptikpol drehenden „Drachenzeigers" angesehen werden. — Betrachten wir das Verhalten des vertikalen, durch Pol und Ekliptikpol durchgehenden Scheibendurchmessers — seine Punkte liegen über dem 18 Uhr-Kreis des Kolurhimmels — so erkennen wir, daß dessen untere Hälfte im Sinne der wachsenden Rektaszensionen sich bewegt. Bei Sternen auf diesem Halbmesser nimmt die

Rektaszension zu. Der obere Halbmesser bewegt sich in der Richtung der abnehmenden Rektaszensionen. Die Rektaszensionen der Sterne zwischen Pol und Ekliptikpol nehmen ab. Alles so, wie wir es im vorigen Kapitel sagten. — Die Scheibe ist mit der übrigen Sternenkugel starr verbunden. Es drehen sich also nicht nur Drache und Drachenzeiger und die Sterne im Kleinen Bären, die innerhalb der Scheibe liegen, sondern z. B. auch Polarstern, etwas außerhalb derselben, sowie die in Bild 56 gezeichneten Sterne im Schwan und Wega in der Leier sowie Herkules, Himmelswagen und Kassiopeia um den Ekliptikpol. Wir setzen dabei ausdrücklich voraus, daß sie ihre gegenseitigen Lagen zueinander auch in Äonen nicht verändern. Diese Voraussetzung wird im stellaren Teil unseres Buches eingehend geprüft werden.

(7) Begriff Polarstern. Heute ist der Stern Alpha im Kleinen Bären dem Pol von allen helleren Sternen am nächsten. Er ist Polarstern, besser gesagt „unser" Polarstern im Sinne unserer Zeit, denn vor 4000 Jahren — wir müssen nur die Drachenscheibe

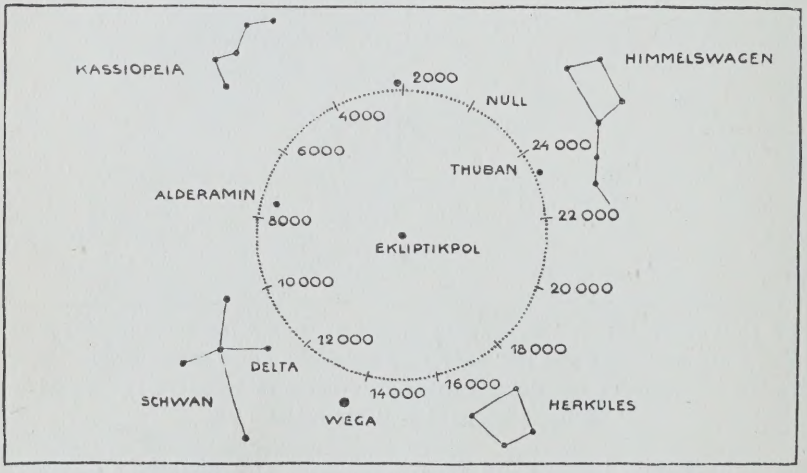


Bild 56. Polwanderung. Ziffern sind gewöhnliche Jahreszahlen. Die Sterne sind als ruhend vorzustellen. In 26 000 Jahren geht der Himmelspol auf dem punktierten Kreis einmal herum. Wega wird Polarstern anno 14000.

gegen den Uhrzeiger zurückdrehen — war er anderswo. Damals war Thuban im Drachen der polare Stern (Bild 56). — Alle Bewegung ist relativ. Dreht sich der Polarstern relativ zur Strecke Pol-Ekliptik-

pol wie die Spitze des Turmuhrzeigers um den Ekliptikpol, so dreht sich relativ zum Polarstern oder relativ zu allen Sternen die Strecke Pol-Ekliptikpol entgegen dem Turmuhrzeiger. Verfolgen wir in Bild 56 die Jahreszahlen von Null über heute — wir schreiben „rund 2000" für 1933 — dann über 4000, 6000 usw., so sehen wir, daß unser Polarstern anfangs immer gleichsam „polarsterniger" wird, dann aber aufhört, auf den Titel eines Polarsternes Anspruch zu haben. Nach 6000 Jahren wird Alderamin im Kepheus, nach 9000 Jahren Delta im Schwan, nach 12 000 Jahren Wega in der Leier „Polarstern" sein. Wega wird dann zwar etwa 5 Grad vom Himmelspol abstehen, aber als auffällig strahlendes Gestirn ein voraussichtlich populärerer Nordstern sein, als unser heutiger es ist. Ein Blick auf den Rand der Drachenscheibe läßt erkennen, daß die Herrschaft unseres heutigen Polarsternes für die allernächsten Jahrhunderte allerdings nicht nur gesichert ist, sondern daß er für viele Jahrzehnte noch immer polarer wird. Der Stern wird, während er heute noch eine Poldistanz von mehr als 1 Grad aufweist, etwa im Jahre 2100 nur etwa ½ Grad vom himmlischen Drehpol entfernt sein, um sich dann allmählich auf viele Jahrtausende von ihm zu verabschieden.

(8) Orion als Sommernachtsbild. Orion ist heute ein ausgesprochenes Winterbild. Seine Figur leuchtet unterhalb des Sommerpunktes, der in unserem Präzessionsmodell (Bild 54) hoch im Süden liegt. Drehen wir die Sternenkugel bei Festhalten des Kolurnetzes, dann wandert Orion aus dem Sommerkolur „in 13 000 Jahren" in den Winterkolur. Er wird aus einem ausgesprochenen Winter- ein Sommernachtsbild. Mit Hilfe eines Sternglobus, den man um die Ekliptikachse dreht, können noch folgende Erscheinungen gezeigt werden: Der heute für uns nicht ganz zirkumpolare ganze Große Bär war früher ganz zirkumpolar. Das heute in unserer Gegend unsichtbare Südliche Kreuz war früher einmal hier sichtbar und wiederholt diese seine Stellung zum Horizont alle 26 000 Jahre.

(9) Zweierlei Jahre. Wir haben als tropisches Jahr die Zeit bezeichnet, innerhalb der die Sonne vom Frühlingspunkt wieder zum Frühlingspunkt wandert. Da durch die Präzession ein Stern, der zu Frühlingsbeginn zufällig zugleich mit der Sonne im Frühlingspunkt ist, nach einem Jahr um etwa 50 Bogensekunden sich vom Frühlingspunkt entfernt hat, benötigt die inzwischen einmal herumgewanderte

Sonne noch einige Zeit, um den Stern einzuholen. Wir nennen dies nur wenig verlängerte Jahr ein siderisches, d. h. Sternenjahr. Wir schreiben:

$$\begin{aligned} \text{siderisches Jahr} &= 365^{d}\ 06^{h}\ 09^{m}\ 09^{s} \\ \text{tropisches Jahr} &= 365^{d}\ 05^{h}\ 48^{m}\ 46^{s} \\ \hline \text{Unterschied} &= \qquad\qquad 20^{m}\ 23^{s} \end{aligned}$$

Das siderische Jahr ist rund 20 Minuten länger als das gewöhnliche tropische. Die Richtigkeit dieser Minutenanzahl läßt sich nachprüfen. Es muß dies die Zeit sein, in der die mittlere Sonne im Äquator rund 50 Bogensekunden, das heißt den Betrag der Präzessionskonstanten, zurücklegt. In ungefährer Rechnung wandert die Sonne in der Ekliptik in 24 Stunden einen Grad, in 24 Minuten also eine Bogenminute weiter, in 20 Minuten ein Sechstel weniger, also 50 Bogensekunden.

(10) Nutation. Stellen wir uns für die Betrachtungen dieses einen Kapitels den Polarstern im idealen, tatsächlichen Himmelspol und damit genau am Umfang der Drachenscheibe liegend vor. Dieser Polarstern wandert in 26 000 Jahren um den Ekliptikpol einmal herum — wir sagten immer „im Kreis" und das stimmt zunächst. Bei genauerer Betrachtung vollführt dieser Stern allerdings kleine Hin- und Herbewegungen und beschreibt längs des Umfanges der Drachenscheibe eine Wellenlinie, deren Wellenlänge, vom Pol der Ekliptik aus gesehen, 6 Bogenminuten ausmacht. Man kann die hiedurch entstehende Schlangenlinie konstruieren, wenn man den Stern in einer Ellipse, deren stets gegen den Ekliptikpol gerichtete große Achse 18 Bogensekunden und deren kleine Achse 14 Bogensekunden mißt, in Gedanken in 18,6 Jahren umlaufen läßt und dabei die Ellipsenmitte in 26 000 Jahren um den Pol der Ekliptik führt. Man nennt diese beobachtbare Schwankung Nutation. Die Anzahl der „Kräuselungen", die der ideale Polarstern in einem Platonischen Jahr beschreibt, beträgt etwa 1400. So oft ist die Periode der 18,6 Jahre, die Nutationsperiode, in 26 000 Jahren enthalten. — Die Nutation bewirkt, daß auch alle anderen Sternörter der starren Sternenkugel hin- und herschwanken und dadurch die Länge eines Sterntages — Kulmination bis Kulmination — etwas veränderlich gestalten. Die Nutationswelle zeigt innerhalb der 18,6 Jahre, die sie zu ihrer Entfaltung benötigt, noch viele Unterwellen, die allerdings fast

unmeßbar klein sind. Präzession und Nutation hängen mit Sonne und Mond zusammen. Doch wird uns diese Frage erst im dritten Teil beschäftigen, während das Thema Präzession im zweiten Teil von

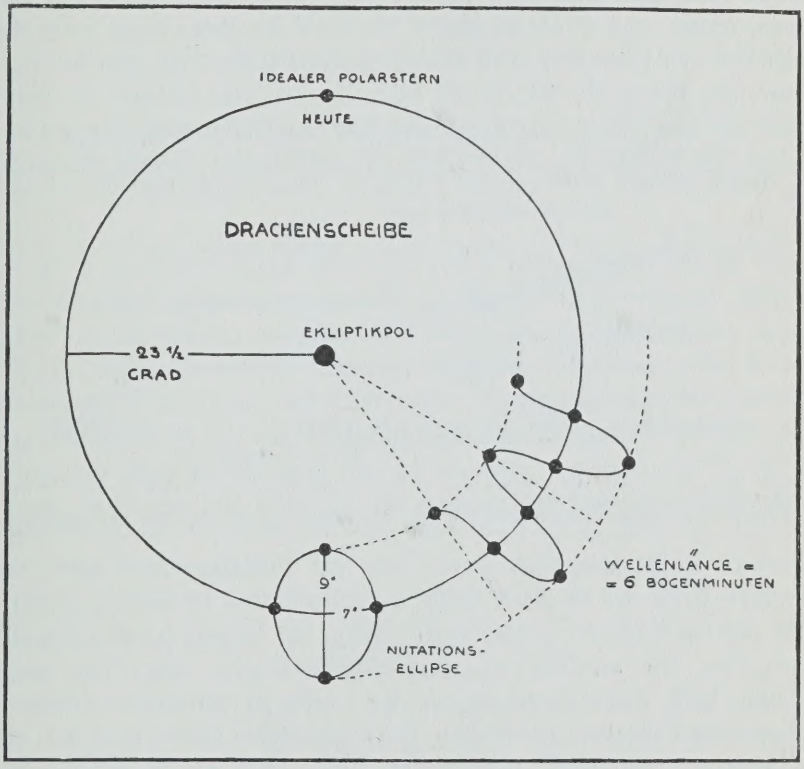


Bild 57. Nutationsbewegung. Der Polarstern, genau im Pol gedacht, beschreibt keine glatte Kreislinie um den Ekliptikpol. Diese hat vielmehr viele relativ kleine Kräuselungen.

einer anderen Seite her behandelt wird. Es soll in diesem Abschnitt nur noch die Änderung der Ekliptikschiefe und deren Einfluß auf den Betrag der Präzessionskonstanten untersucht werden.

(11) Lunisolarpräzession. Wir blicken in Gedanken um 6 Uhr Sternzeit zum Westpunkt. In ihm liegt als Schnittpunkt von Äquator und Ekliptik der Frühlingspunkt (Bild 58). Wir haben diesen bisher bei Beschreibung der Präzession immer festgehalten und die Sterne in bezug auf ihn wandern lassen. Halten wir aber in Gedanken

die Sterne fest, dann rückt der Schnittpunkt längs der zunächst stets gleich schiefen Ekliptik langsam nach rechts abwärts. Im Bild 58 ist der Äquator waagrecht gezeichnet. Es zieht der Frühlingspunkt, der heute links oben steht, den Äquator im Verlaufe eines Jahres mit sich nach unten. Der Frühlingspunkt hat dabei die obere lange Seite des schraffierten Dreieckes zurückzulegen. Nun ändert sich aber im Verlaufe des Jahres die Schiefe der Ekliptik. Sie wird kleiner. Sie dreht sich um eine Achse, die heute ungefähr die Ekliptiklänge 354 Grad

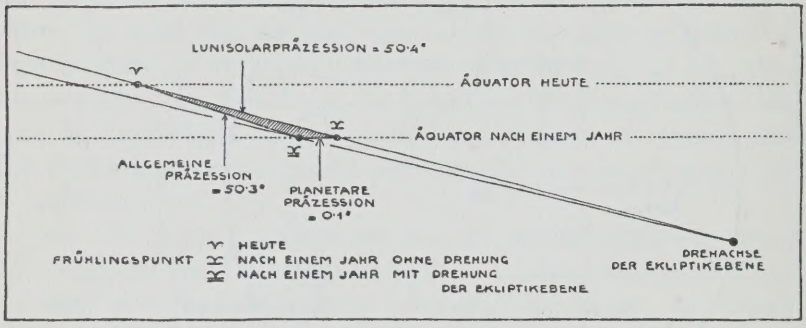


Bild 58. Dreierlei Präzessionsbeträge. Veränderung der Schiefe der Ekliptik

besitzt. Es ist also nach einem Jahr der Frühlingspunkt nicht am rechten Ende der längsten Seite des schraffierten Dreieckes, sondern am rechten Ende der zweitlängsten Seite. Die längste ist 50,4 Bogensekunden, die zweitlängste 50,3 Bogensekunden lang. Der erste Betrag heißt Lunisolarpräzession, der zweite ist die früher erwähnte allgemeine Präzessionskonstante. Der Unterschied beider, etwa das mit „planetare Präzession" bezeichnete Stück, mißt 0,1 Bogensekunde. Die allgemeine Präzession nimmt jährlich um $^1/_{4000}$ zu, die planetare um $^1/_{5000}$ Bogensekunden ab, somit wächst die lunisolare um rund $^1/_{20\,000}$ Bogensekunden, denn $^1/_{4000} - {}^1/_{5000} = {}^1/_{20\,000}$. Die Winzigkeit der Beträge erlaubt es, bei allgemeinen Betrachtungen die Unterscheidung zwischen der allgemeinen und der lunisolaren Präzession wegzulassen.

ACHTER ABSCHNITT
PLANETENLAUF

Fixstern und Planet / Schlingen und Schlangenlinien / Siderischer Umlauf / Tropischer Umlauf / Opposition und Konjunktion / Elongation und Quadratur / Synodischer Umlauf / Merkur / Venus / Mars, Jupiter, Saturn

(1) Fixstern und Planet. Wir haben bisher immer nur von „Sternen" gesprochen und hätten hiefür ohne weiteres „Fixsterne" sagen können. Man will mit dieser älteren Bezeichnung ausdrücken, daß sie an der Sternenkugel, auch am Kolurhimmel, für oberflächlichere Betrachtung ein starres, fixes System miteinander bilden. Abgesehen davon, daß eine Starrheit in Wirklichkeit gar nicht besteht, wollen wir diese Bezeichnung nur im bewußten Gegensatz zu den Gestirnen anwenden, die sichtlich ihre gegenseitige Lage und noch viel

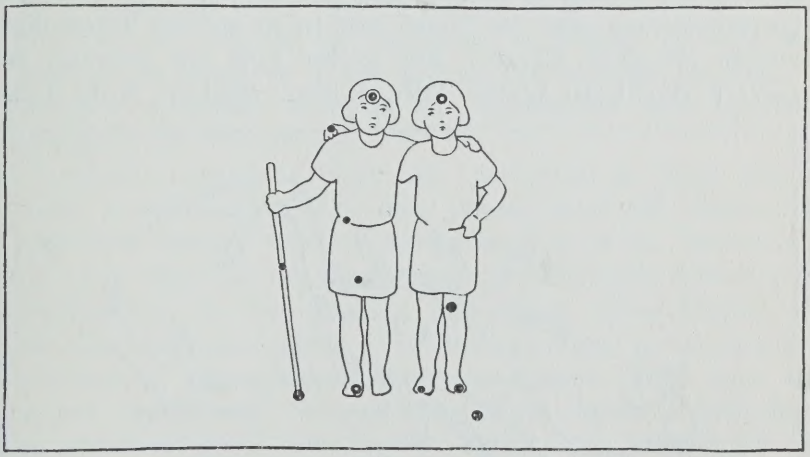


Bild 59. Sternbild der Zwillinge. Umrißlinien. Ein Versuch

mannigfaltiger, als es die Sonne tut, auch die Lage in jedem der fünf beschriebenen Koordinatensysteme verändern. Diese Spaziergänger unter den Himmelsobjekten sind die Wandelsterne oder Planeten, von

denen man mit freiem Auge fünf sehen kann: Merkur, nur in der Dämmerung in Sonnennähe auffindbar, dann den Morgen- und Abendstern Venus, den rötlichen Mars, den hellen Jupiter und schließlich

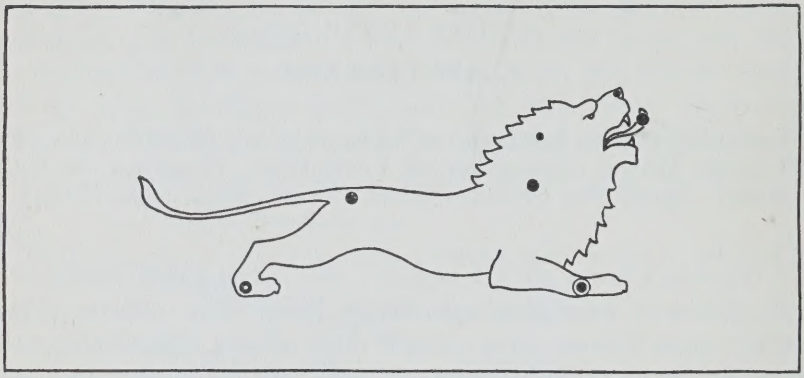


Bild 60. Sternbild des Löwen. Zu vergleichen mit Bild 71

Saturn. Sprechen wir von Sternen schlechthin, so meinen wir nach wie vor immer Fixsterne, wenn es sich nicht aus dem Sinn der Darstellung von vornherein anders ergibt. Die auffällige und oft rasche Ortsveränderung unter den Sternbildern ist ein sicheres Erkennungszeichen für einen Planeten. Ein solcher kann nur innerhalb der zwölf Tierkreisbilder Widder, Stier, Zwillinge (Bild 59), Krebs, Löwe

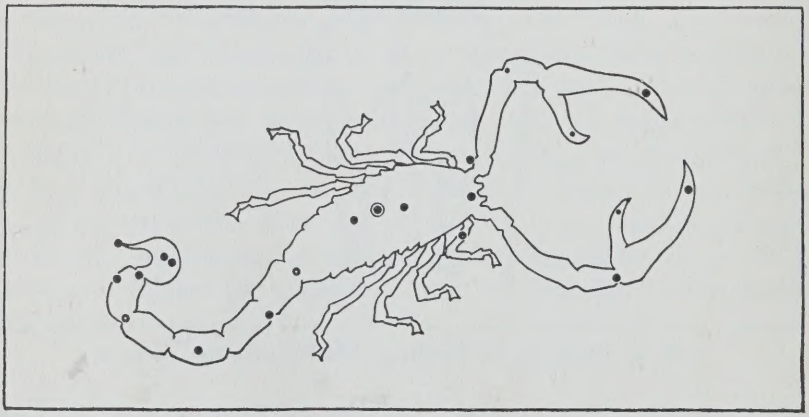


Bild 61. Sternbild des Skorpions. Umrißlinien. Hellster Stern ist Antares. Die Sterne an den Scheren gehören zur Waage, werden aber zur Ergänzung des Skorpionbildes herangezogen.

(Bild 60), Jungfrau, Waage, Skorpion (Bild 61), Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische stehen. Kennt man die wichtigsten Sterne der zwölf Tierkreisbilder, so findet man einen Planeten als gleichsam überzählig sofort heraus. Ein anderes Kennzeichen ist das wenn auch nicht ausnahmslos ruhige Licht der Planeten im Gegensatz zum Funkeln oder Szintillieren der benachbarten hellen Fixsterne, das die irdische Luft verursacht.

(2) Schlingen und Schlangenlinien. Merkwürdig sind die Bahnlinien, die die Planeten im Verlaufe der Wochen und Monate beschreiben. So gibt Bild 62 eine Schlinge wieder, die Venus im Verlaufe von wenigen Monaten erst recht-, dann rückläufig, schließlich wieder rechtlaufend, 1905 beschrieb: Unter dieser Schleife beschrieb Merkur um dieselbe Zeit eine Schlangenlinie. Manchmal arten die Bahnen in Spitzen aus oder in Zickzacklinien mit so kleinen Winkeln, daß die Hin- und Hergänge eng beieinander liegen. Bei Richtungsänderung scheinen die Planeten mitunter ganz still zu stehen, ihr Lauf wird dann „stationär". Man spricht vom Stillstand der Planeten. Trotz des sonderbaren Ganges behält der Planetenweg im großen und ganzen eine einheitliche Richtung bei. Er hat denselben Richtungssinn, wie die Sonne unter den Sternen. Die Planeten sind also im allgemeinen rechtläufig, nehmen dabei auch wie die Sonne teil an der täglichen und jährlichen Drehung des Himmels, schließlich auch an der Präzessions- und Nutationsbewegung der Sternenkugel.

(3) Siderischer Umlauf. Jupiter ist in jedem Jahr in einem anderen Tierkreisbild. Sein Umlauf unter den Sternen, der sogenannte siderische Umlauf, beträgt somit 12 Jahre. Genauer sind es 11,863 Jahre oder 4333 Tage. Infolge mannigfaltiger Änderung der Deklinationen ist die Bahnlinie nach einem vollen Umlauf von 360 Grad nicht geschlossen. „Von Stern zu Stern" ist also eine bloß anschauliche, aber nicht ganz widerspruchsfreie, wenn auch sehr übliche Bezeichnung. Wir nennen richtiger siderische Umlaufszeit die vom Stundenkreis eines Sternes bis zum selben Stundenkreis oder auch vom Breitenkreis eines Sternes bis zum selben Breitenkreis. Im letzten Falle spricht man auch von zodiakalem Umlauf. — Die siderischen Umläufe der fünf hellen Planeten sind hier zusammen mit den bald zu erörternden tropischen und synodischen Umläufen in einer Tabelle zusammengestellt.

Planet	Umlauf in Tagen		
	siderisch	tropisch	synodisch
Merkur	88	88	116
Venus	225	225	584
Mars	687	687	780
Jupiter	4 333	4 331	399
Saturn	10 759	10 747	378

Merkur läuft im Jahr dreimal synodisch und viermal siderisch um, Venus benötigt etwa 7 Monate zum siderischen Umlauf, Mars fast 2, Jupiter 12, Saturn 29 Jahre.

(4) Tropischer Umlauf. Ist Jupiter in einem bestimmten Augenblick im Stundenkreis des Frühlingspunktes — also etwas ungenau gesagt, im Frühlingspunkt — dann benötigt er zu einem vollen Umlauf von Stern zu Stern zwar die oben genannten 4333 Tage. Da ihm aber vor Vollendung dieser Zeit der Frühlingspunkt infolge der Präzession etwas entgegenkommt, ist ein tropischer Jupiterumlauf — so nennen wir den Umlauf vom Frühlingspunkt wieder zum Frühlingspunkt zurück — um 2 Tage kürzer. Der Unterschied

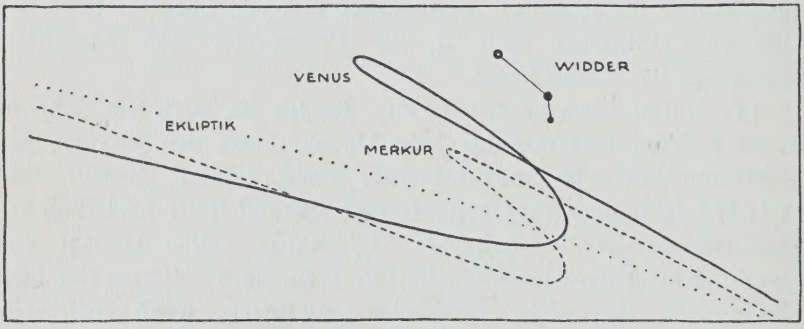


Bild 62. Schlingen und Schlangenlinien der Planeten. Widderbild bleibt unverändert.

ist bei Mars kleiner als ein zehntel, bei Venus kleiner als ein hundertstel, bei Merkur kleiner als ein tausendstel Tag. Erst bei Jupiter macht er 2, bei Saturn 12 Tage aus.

(5) Opposition und Konjunktion. Von Merkur und

Venus sagten wir schon, daß sie sich nur in Sonnennähe zeigen. Auch sonst besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Planetenlauf und Sonnenort. So sind Jupiter, Saturn und Mars nur rückläufig, wenn sie dem Sonnenort gegenüberstehen. Sie sind dann im Gegenschein oder in Opposition zur Sonne und am besten beobachtbar. Sind sie dort, wo die Sonne ist, dann sind sie im Gleichschein oder in Konjunktion mit ihr. Haben Sonne und Planet gleiche Rektaszension oder gleiche Ekliptiklänge, dann spricht man von einer Konjunktion in Rektaszension und einer in Länge. Merkur und Venus stehen nie in Opposition zur Sonne, haben dagegen bei jedem Umlauf zwei Konjunktionen, eine bei Rechtlauf, die sogenannte obere, und eine bei Rücklauf, die sogenannte untere. Planeten können auch untereinander in Konjunktion sein. Man nennt das Eintreffen gleicher Rektaszension oder gleicher Ekliptiklänge so. Sie sind zueinander in Opposition, wenn sich ihre Stundenkreise oder Breitenkreise — beides sind Halbkreise — zu vollen Kreisen ergänzen, ihre Rektaszensionen oder Längen um 180 Grad voneinander unterscheiden (Bild 63).

(6) Elongation und Quadratur. Bei Opposition liegen Planet und Sonne an den Enden nahezu ein- und desselben Himmels-

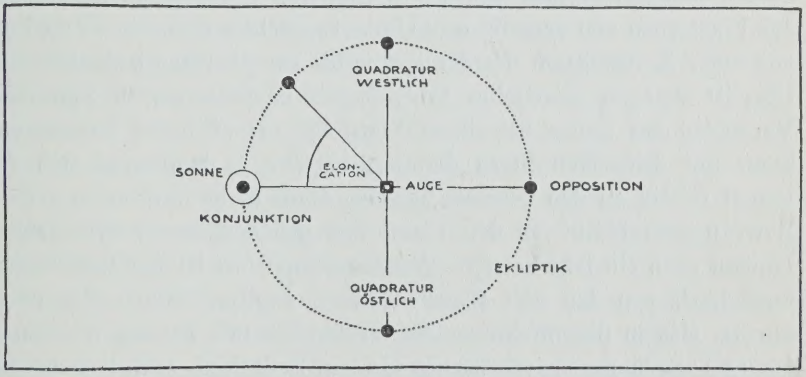


Bild 63. Konjunktion, Opposition, Quadratur und Elongation bei Planeten

durchmessers, oder es wird die Linie Sonne-Auge von der Linie Auge-Planet gerade fortgesetzt. Bilden die beiden Linien Auge-Sonne und Auge-Planet einen rechten Winkel miteinander, dann steht der Planet in Geviertschein oder Quadratur zur Sonne, in westlicher, wenn er rechts, in östlicher, wenn er links von der Sonne steht,

den Ekliptikpol als „oben" angenommen. Der Winkel Sonne - Auge - Planet heißt Elongation des Planeten. Mars, Jupiter und Saturn können beliebige Elongationen, Venus nur solche bis zu 48, Merkur bis zu 28 Grad haben. Die beiden Planeten kehren, wenn sie diese ihre größten Elongationen erreicht haben, wieder zur Sonne zurück. Steht Venus links von der Sonne, dann ist sie des Abends zu sehen, steht sie rechts von der Sonne, dann geht sie vor ihr auf und ist Morgengestirn (Bild 64). Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den anderen Planeten.

(7) Synodischer Umlauf. Die Zeitdauer zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Konjunktionen mit der Sonne, bei Merkur und Venus insbesondere zwischen zwei rechtläufigen Konjunktionen mit der Sonne, ist Veränderungen unterworfen, doch kann man Durchschnittswerte berechnen. Man nennt diese auf die Sonne bezogenen Umläufe die synodischen Umläufe der Planeten. Rechnen wir die Zeitdauern alle in Tagen, dann können wir die synodischen aus den siderischen Umläufen nach folgender Regel ermitteln: Synodischer Umlauf = 365¼ mal siderischer Umlauf, das Produkt dividiert durch den Unterschied „siderischer Umlauf minus 365¼" oder „365¼ minus siderischer Umlauf", je nachdem es sich um Mars, Jupiter und Saturn oder um Merkur und Venus handelt. — Wir können auch bei den Fixsternen von synodischem Umlauf sprechen, wenn dieser die Zeit von einer Konjunktion mit der Sonne bis zur nächsten bedeuten soll. Dies ist aber ein siderisches Jahr, da wir ja dieses als die Zeit vom Verweilen der Sonne bei einem Stern bis zur nächsten Zusammenkunft mit demselben Stern definiert hatten. Je langsamer sich ein Planet relativ zu den Sternen bewegt, desto mehr muß er in seinen Bewegungsverhältnissen den Fixsternen gleichen, deren synodischer Umlauf eben ein Jahr beträgt. Wir entnehmen der letzten Tabelle, daß tatsächlich von den drei Planeten Mars, Jupiter, Saturn, der langsamste, also in diesem Sinne „fixsternähnlichste", Saturn, nur einen um 13 Tage längeren synodischen Umlauf besitzt, als z. B. Regulus im Löwen, dessen synodischer Umlauf wie der eines jeden andern Fixsterns ein Jahr beträgt.

(8) Merkur. Merkur kommt im Jahr dreimal in obere und dreimal in untere Konjunktion mit der Sonne und geht bestenfalls wenige Stunden nach der Sonne unter, wobei seine östliche oder abendliche Elongation ein Maximum ist. Die Benennung „östliche Elongation" darf nicht mißverstanden werden. Merkur steht als Abendplanet im

Westen, aber die Winkelzählung von der Sonne bis zu Merkur erfolgt rechtläufig, also in west-östlicher Richtung. Am Morgen geht der Planet bestenfalls wenige Stunden vor der Sonne auf. Die größte westliche oder morgendliche Elongation ist ebenso wie die größte

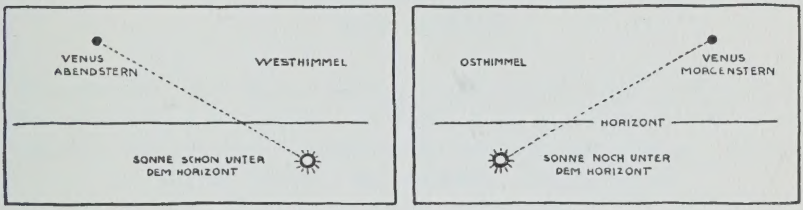


Bild 64. Venus als Abend- und als Morgenstern

abendliche Elongation sehr verschieden, ihre Beträge bewegen sich zwischen 18 und 28 Grad. Merkur kann die Helligkeit 1, ja mitunter sogar zwei hellere Stufen, „0" und „-1" erreichen, ist aber trotzdem, weil er nur in der Dämmerung, nie auf dunklem Himmelsgrund gesehen werden kann, verhältnismäßig schwer auffindbar. Hat man ohne Instrument Merkur, immer nur mit etwas Mühe, endlich entdeckt, ist man freilich verwundert, daß das nicht schon früher geschah.

(9) Venus. Alle fünf hellen Planeten können sowohl Abend-, als auch Morgengestirne sein. Den eigentlichen Anspruch auf die Benennung Abendstern oder Morgenstern hat aber dem guten Sprachgebrauch nach nur Venus (Bild 64). Sie überrascht uns mitunter durch ihren hellen Glanz, der bei ihrem Rücklauf 36 Tage vor und 36 Tage nach der Konjunktion erfolgt und der Sterngröße „-4" entspricht. Da die größte Elongation links wie rechts von der Sonne etwa 48 Grad beträgt, kann Venus am Abend, wie am Morgen etwa doppelt so lang über dem Horizont sein, als Merkur. Da der synodische Umlauf der Venus ein Jahr und sieben Monate beträgt, so müssen wir so lange von einem größten Glanz am Abend bis zur nächsten gleichen Erscheinung warten.

(10) Mars, Jupiter, Saturn. Mars ist an seiner roten Farbe zu erkennen. Jedes zweite Jahr etwa — synodischer Umlauf 2 Jahre 50 Tage — steht er in Opposition zur Sonne und beschreibt rücklaufend eine Schlinge. Er leuchtet beim Rücklauf immer heller als sonst. Alle 32 oder 47, erst recht alle 79 Jahre ist sein Glanz während des Rücklaufes ganz besonders auffällig. Auch Jupiter und Saturn,

beide im allgemeinen erster Größe, sind nur während der Opposition rückläufig, die bei Jupiter sich nach je einem Jahr und einem Monat wiederholt, während dieselbe Periode bei Saturn ein Jahr und einen halben Monat beträgt. Näheres über die fünf hellen Planeten wird uns die „Astronomie des Sonnensystems" bringen.

NEUNTER ABSCHNITT
MONDLAUF

Volle Scheibe / Synodischer Umlauf / Mondphasen / Auf- und Untergang / Phasenstellung / Septembermond / Mondlauf und Ekliptik / Siderischer Umlauf / Umrechnung / Tropischer Umlauf / Knotenrücklauf / Anomalistischer Monat / Sarosperiode / Ungleichheiten

(1) Volle Scheibe. Der Mond hält sich, wie die Planeten, in Ekliptiknähe unter den 12 Tierkreisbildern auf, innerhalb eines etwa 10 Grad breiten Streifens. Die auffällig wechselnden Phasen, die Stellung seiner verschiedenartigen Figuren am ruhenden und am rotierenden Himmel, der mannigfaltig zusammengesetzte Weg unter den Sternen und die Beziehung seines Himmelsortes zum Sonnenort

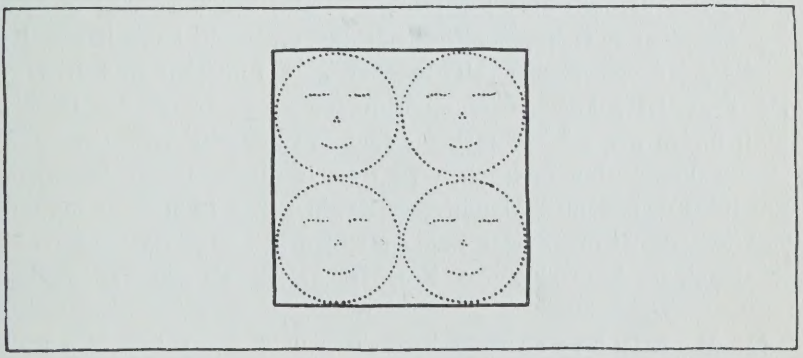


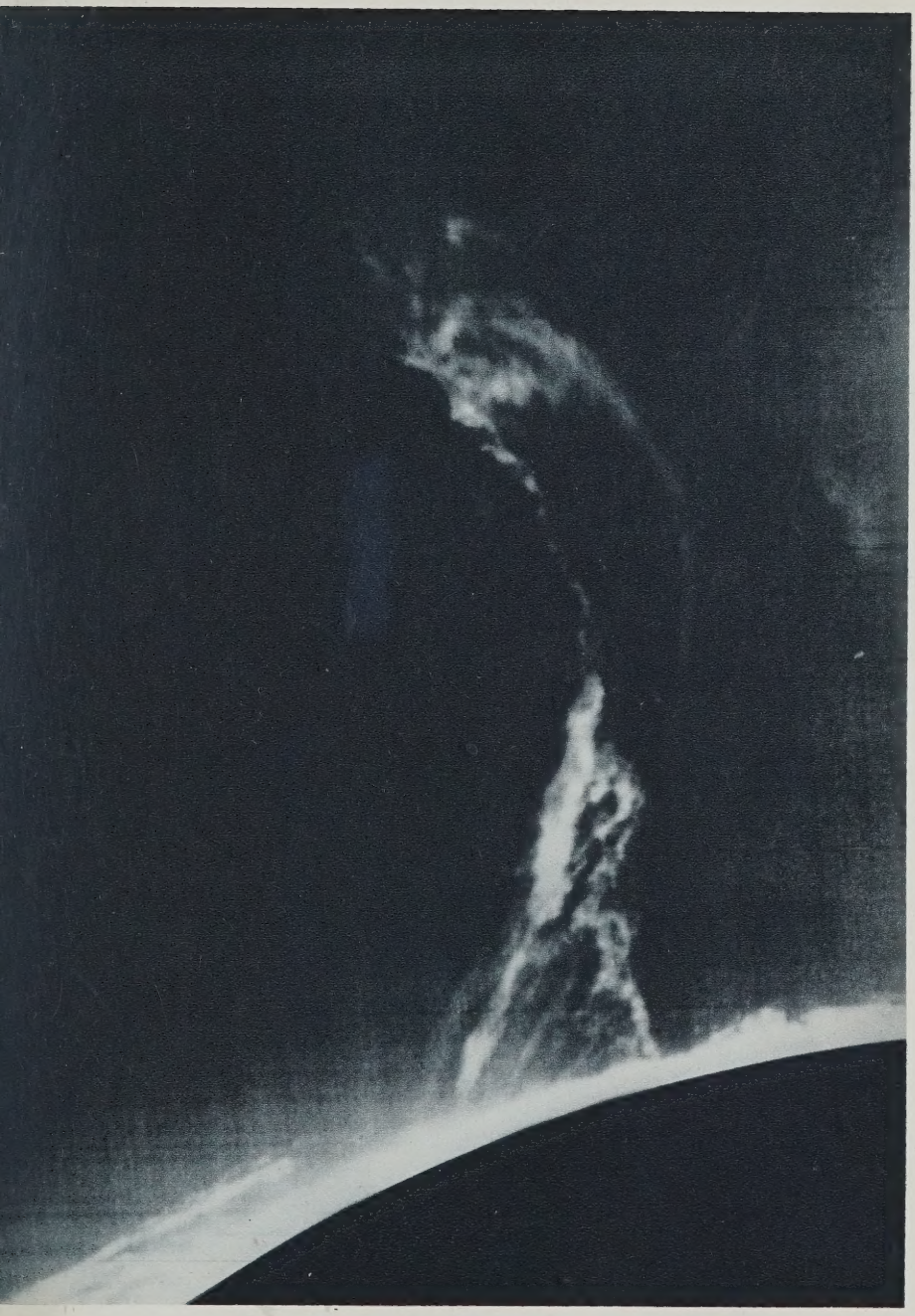
Bild 65. Quadratgrad. Vier Vollmonde

machen ihn zu einem interessanten, wenn auch schwierigen Objekt. Der volle Mond, der Sonne immer gegenüber, erscheint uns als kreisrunde Scheibe und hat etwa denselben Winkeldurchmesser wie die Sonne, ungefähr ½ Grad, so daß einem Quadratgrad 4 Vollmonde eingeschrieben werden können. Es könnten am Horizont gleichzeitig 720 Vollmonde und vom Ostpunkt an über das Zenit bis herab zum Westpunkt 360 Vollmondscheiben stehen. Im Mittel beträgt der

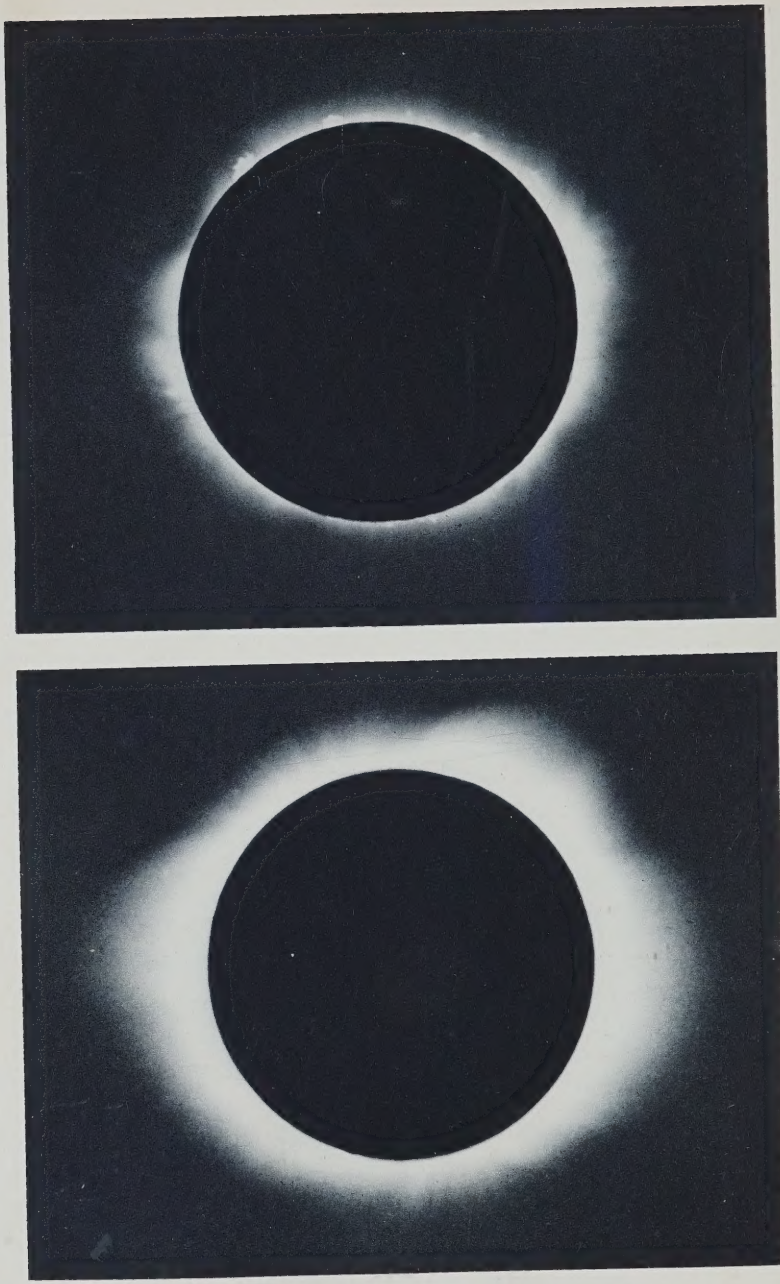
Durchmesser 31 Bogenminuten. Seine Größe schwankt allerdings zwischen einem größten Wert von 34 und einem kleinsten von 28 Bogenminuten. Denken wir uns den nicht vollen Mond jeweils zur vollen Scheibe ergänzt, so „atmet" oder „pulsiert" diese Scheibe in einer bestimmt beobachtbaren Periode. Unabhängig von diesen meßbaren Winkelgrößen besteht eine rein optisch-subjektive Größenwirkung des Vollmondes darin, daß er beim Aufgang bedeutend größer erscheint, als später. Es ist dies eine psychologische Täuschung, die später erklärt werden soll. Messen wir ganz objektiv mit Hilfe eines entsprechenden Gerätes den Durchmesser in den verschiedensten Lagen über dem Horizont in 10, 20, 30 Grad Höhe usw., so finden wir zur Überraschung gerade das Gegenteil. Der Winkeldurchmesser nimmt vom Horizont bis zum Zenit um $^1/_{60}$ zu. Diese Feststellung wird uns bald dienlich sein.

(2) Synodischer Umlauf. Der Phasenwechsel zeigt engste Beziehung zum Sonnenstand. Wir sprechen von Neumond, wenn Sonnen- und Mondort dieselbe Ekliptiklänge haben. Unter welchen Begleitumständen dann Sonnenfinsternisse entstehen, soll in einem besonderen Abschnitt über Finsternisse beschrieben werden. Die Zeitdauer zwischen zwei Neumonden heißt die synodische Umlaufszeit des Mondes oder synodischer Monat oder eine Lunation und beträgt 29½ Tage, ist jedoch Änderungen unterworfen. Im großen Durchschnitt finden wir $29^d\ 12^h\ 44^m$, das sind 29,5306 mittlere Sonnentage. 235 synodische Monate ergeben 19 volle tropische Jahre. Der Zeitraum führt den Namen Metonischer Zyklus. Die Länge der bürgerlichen Monate ist mehr oder weniger willkürlich angesetzt, jedenfalls, mit alleiniger Ausnahme des Februar, größer als ein synodischer Monat.

(3) Mondphasen. Wir betrachten naiv den vollen Mond als entwickeltste Phase und sprechen so vom jungen und vom alten Mond und nennen Mondalter innerhalb einer Lunation die seit Neumond abgelaufene Zeit in Tagen. Die helle Figur einer jeden Phase wird entweder von einem ganzen Kreis, wie beim Vollmond, oder von einem Halbkreis und dessen Durchmesser, wie bei den Vierteln, oder von einem Halbkreis und einer halben Ellipse begrenzt und nimmt vom Neumond bis zum Vollmond an Fläche zu. Die junge Sichel erscheint nur in Horizontnähe kurz nach Sonnenuntergang im Westen. Mitunter sieht man bei schmaler Sichel den Halbkreis durch das „asch-



Protuberanz (Yerkessternwarte)



Oben: Sonnenfinsternis, 29. Juni 1927. Chromosphäre (Hamburger Sternwarte)
Unten: Sonnenfinsternis, 31. August 1932. Korona (Havardsternwarte)

graue Licht" zum vollen Kreis ergänzt. Erstes Viertel ist zunehmender, letztes Viertel abnehmender Halbmond. Die abnehmende Sichel ist wieder nur in Horizontnähe zu sehen, und zwar im Osten kurz vor Aufgang der Sonne. Alle diese Phasen können bei besonders klarer Luft auch tagsüber gesehen werden. Wird im Bild 63, das die Stellungen eines Planeten veranschaulichen soll, statt des Planeten der Mond eingesetzt, dann ergeben sich für die vier Hauptphasen des Mondes, nämlich Neumond, erstes Viertel, Vollmond und letztes Viertel, folgende Erklärungen. Neumond bedeutet: Mond in Kon-

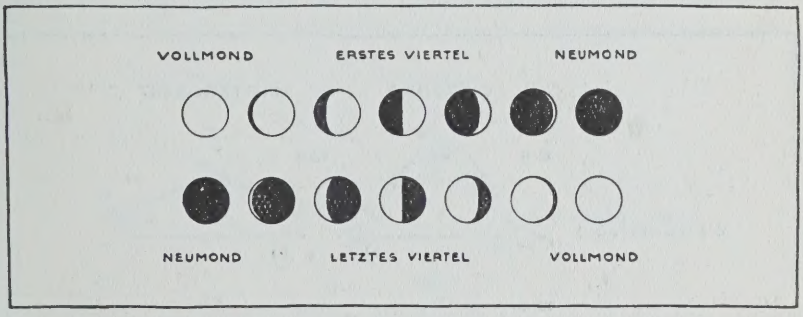


Bild 66. Zwölfteilige Mondphasen, von rechts nach links aufeinanderfolgend. Zwischenzeit je 2½ Tage

junktion mit Sonne. Erstes Viertel ist etwa gleichbedeutend mit: Mond in östlicher Quadratur. Bei Vollmond ist der Mond in Opposition zur Sonne, bei letztem Viertel in westlicher Quadratur. Die Zeit des Eintrittes einer dieser Hauptphasen nennt man Mondwechsel. Ein solcher ereignet sich alle 7 Tage 9 Stunden. Die Sichel ist für unsere Gegend zunehmend, wenn aus ihrer Rundung ein großes geschriebenes deutsches Z gemacht werden kann, und abnehmend, wenn sich ein deutsches A machen läßt. — Die zunehmende Sichel steht links oberhalb der Sonne am Westhimmel, die abnehmende rechts oberhalb am Osthimmel. Stellt man sich die Sonne als Zielscheibe vor, dann kann die Sichel gespannter Bogen sein und ist als solcher immer „richtig gezeichnet", mit der erhabenen Rundung gegen die Sonne zu gekehrt. Der volle Mond geht auf, wenn die Sonne untergeht, und geht unter bei Sonnenaufgang. Man könnte den Vollmond im Grunde genommen als eine nächtliche Sonne ansehen und dann die Sonnenuhren als Monduhren verwerten. — Vollmond und Neumond

heißen zusammen auch Syzygien. Bild 66 zeigt 12 Phasen einer Lunation, so daß, Neumond beiseite gelassen, die erste Phase 2½ Tage, die zweite doppelt so alt ist, usw.

(4) Auf- und Untergang. Da der Mond am rotierenden Himmel eine im großen und ganzen mit der der Sonne vergleichbare Bewegung unter den Sternen ausführt, so wird er zunächst auch wie die Sonne vom rotierenden Himmel mitgenommen. Er geht auf, kulminiert und geht unter. Da er aber bereits zwischen Auf- und Untergang seine Deklination merklich ändert, sind seine Tageskreise noch viel weniger geschlossen als bei der Sonne, seine täglichen „Windun-

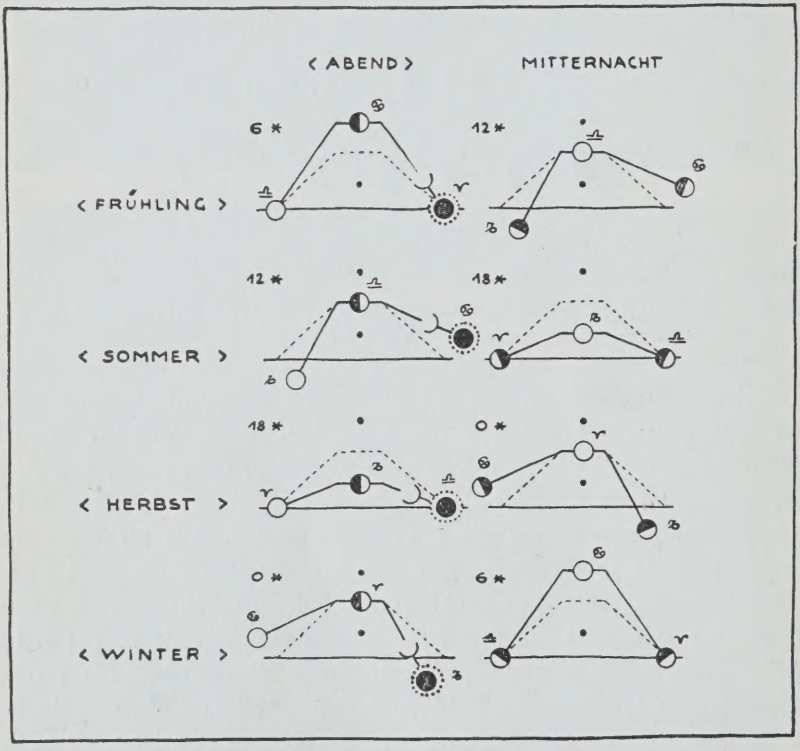


Bild 67 wie 68. Stellungen der Mondphasen. Strahlenkranz bedeutet Sonne, schwarze Scheibe Neumond. Äquator gestrichelt, Ekliptik ausgezogen

gen“ — wenn wir an die Jahresschraube der Sonne denken — sind lockerer als die des Sonnenweges. Eine ganze Schraube hinauf und hinab wird etwa innerhalb einer Lunation beendet. — Da von einer

Kulmination bis zur nächsten der Mond unter den Sternen rechtläufig weitergewandert ist, dauert ein „Mondtag", wenn wir in Anlehnung an den „Sonnentag" die Zeit zwischen zwei Mondkulminationen so nennen dürfen, länger als 24 Stunden. Er mißt im Durchschnitt 24 Stunden 54 Minuten. Wir stellen zum Vergleich drei Zahlen zusammen:

Sterntag $= 23^h\ 56^m$
„Tag" $=$ mittlerer Sonnentag $= 24^h$
„Mondtag" $= 24^h\ 54^m$

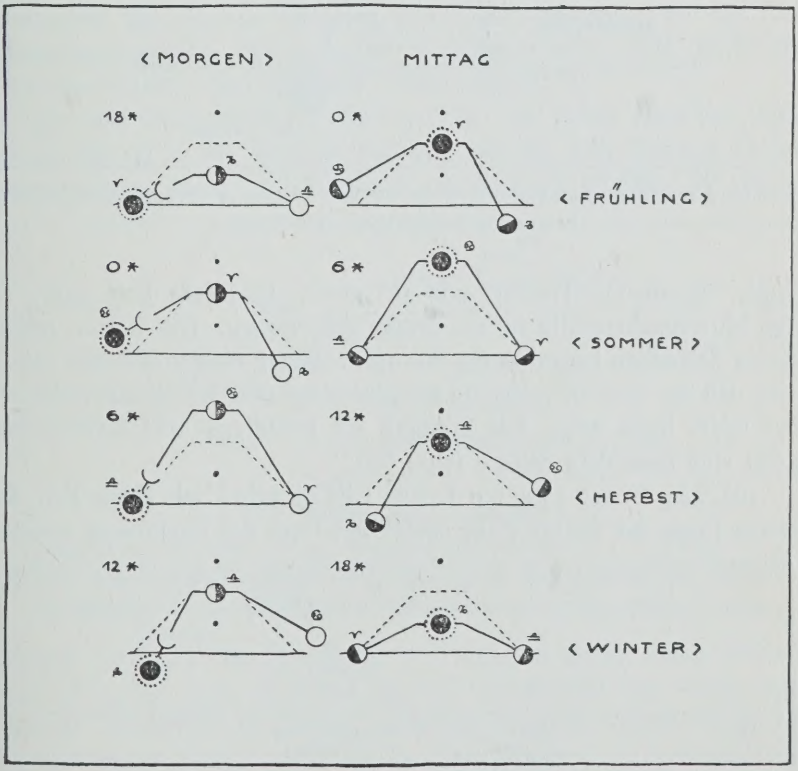


Bild 68. Zweiter Teil zu Bild 67

(5) Phasenstellung. Die verschiedene Himmelsrichtung, in der der Mond sich gerade befindet, seine entsprechende Phase, seine Höhe über dem Horizont, die Stellung zu Äquator und Ekliptik, die

Lage der Symmetrieachse der Mondfigur sind schematisch in unserer Doppeltafel angegeben (Bilder 67, 68). Auf jedem Einzelbild sind Äquator und Ekliptik eckig dargestellt und der Mond der Einfachheit wegen idealisiert in die Ekliptik versetzt. Vier Spalten geben ⟨Abend⟩, Mitternacht, ⟨Morgen⟩ und Mittag an, vier Zeilen ⟨Früh-

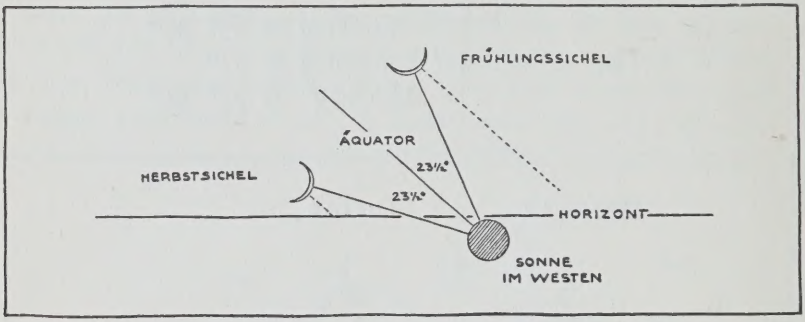


Bild 69. Abendliche Sichelstellung im ⟨Herbst⟩ und im ⟨Frühling⟩. Gestrichelte Linien Tagbogenstücke des Mondes

ling⟩, ⟨Sommer⟩, ⟨Herbst⟩ und ⟨Winter⟩. In jedem Feld außer in der Mitternachtsspalte ist die Sonne eingetragen. Die Zahlen neben einem Sternchen bedeuten die Sternzeit. Unter vielem anderem sehen wir, daß der Sommervollmond besonders tief und der Wintervollmond besonders hoch steht. Die Stellung der Frühlings- und Herbstsichel zeigt eine besondere Skizze (Bild 69).

(6) S e p t e m b e r m o n d. Aus Bild 67 geben wir einen Teil der ersten Figur der dritten Zeile noch einmal mit der Ergänzung wieder,

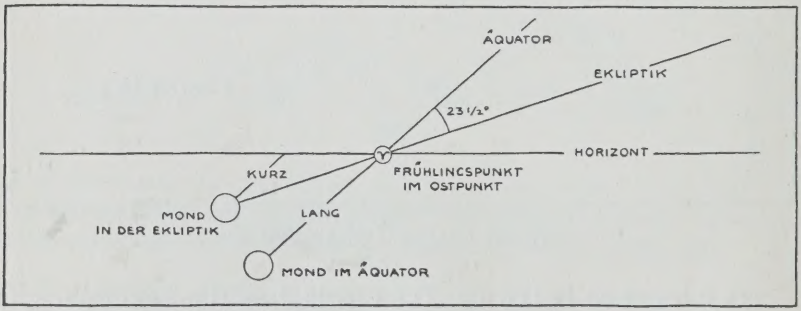


Bild 70. Septembermond oder Mond der Erntezeit. Er geht „pünktlicher" auf als ein anderer.

daß Ekliptik und Mondweg auch unter den Horizont erweitert erscheinen. — Würde der Mond im Äquator laufen, müßte er täglich 54 Minuten später im Ostpunkt sein. Da aber die Ekliptik, in der wir den Mond hier idealisierend laufen lassen, sehr flach zum Horizont gestellt ist, ist (Bild 70) der Weg aus der Ekliptik bis hinauf zum Horizont viel kürzer, als ein entsprechender Weg im Äquator, falls der Mond sich in diesem befände. Der Mond erscheint deshalb verhältnismäßig früher an einer bestimmten Stelle im Osten, so daß sich während der Vollmondzeit der Mond „ganz ungefähr" zur selben Stunde, wie eine pünktlich angezündete Laterne, meldet. Die Mondlandschaft hat Abende hindurch ähnlichen Charakter. — Der der Herbstnachtgleiche nächtgelegene Vollmond heißt wohl auch der „Erntevollmond", ihm folgt der „Jägervollmond".

(7) Mondlauf und Ekliptik. Die Sonne läuft der Definition gemäß in der Ekliptik und nur für das rohe Schema hatten wir auch den Mond durchwegs in die Ekliptik gestellt. In Wirk-

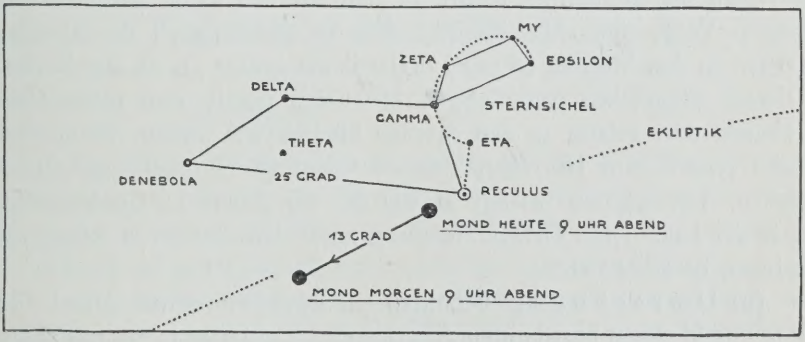


Bild 71. Sternbild des Löwen mit der Sternsichel über Regulus. Ein Tageslauf des Mondes ist etwa halb so lang wie die Grundlinie im großen Trapez.

lichkeit schneidet die Mondbahn die Ekliptik unter einem Winkel von 5^0 09′ in zwei Punkten, die wir die Knoten des Mondweges heißen. Dort, wo der Mond über die Ekliptik steigt, liegt der „aufsteigende" Knoten, hie und da auch Drachenkopf genannt. Die letztere Bezeichnung hat mit dem Sternbilde des Drachens ganz und gar nichts zu tun. Die Stelle, an der die Mondbahn beim Abstieg unter die Ekliptik diese schneidet, ist der „absteigende" Knoten oder der Drachenschwanz. Wie jeder Kreis an der Himmelskugel, so hat auch die Mondbahn einen Pol, der vom Pol der Ekliptik um 5^0 09′ ab-

weicht. Die Abweichungen vom Äquator können sich beim Mond in der Gegend des Sommer- und Winterpunktes zu 28½ Grad nördlich, wie südlich addieren. — Die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik schwankt um 9 Bogenminuten auf und ab.

(8) Siderischer Umlauf. Betrachten wir den Lauf des Mondes nicht nur bezüglich der Sonne, sondern von Stern zu Stern, so können wir, wie bei den Planeten, den siderischen Umlauf bestimmen. Wir können beobachten, daß, wenn sich der Mond in einem gegebenen Augenblick etwa bei Regulus befindet, er nach rund 27 Tagen wieder bei diesem Stern steht. Der siderische Monat ist also um mehr als zwei Tage kürzer als der synodische, so daß der Mond etwa 13 Tage über und 13 Tage unter dem Äquator weilt. Es beträgt die Durchschnittsdauer des siderischen Umlaufes $27^d\ 07^h\ 43^m\ 12^s$. In dieser Zeit werden 360 Grad an der Himmelskugel zurückgelegt, dementsprechend an einem Tag 13 Grad, also etwa die Hälfte des Stückes von Regulus bis Denebola (Bild 71). — In einer Stunde durcheilt die Mondmitte relativ zu den Sternen einen durchmesserlangen Weg, eine „Mondbreite". Die Geschwindigkeit des Mondes relativ zu den Sternen ist etwa dreizehnmal größer als die der Sonne. Diesem stündlichen rechtläufigen Mondweg relativ zum rotierenden Himmel oder relativ zu den Sternen können wir dessen stündlichen Lauf relativ zum Horizont, also am ruhenden Himmel, gegenüberstellen. Der letztere beträgt so wie der der Sonne 15 Grad, wovon aber der halbe Grad Ortsveränderung unter den Sternen in Abzug zu bringen ist (Bild 72).

(9) Umrechnung. Könnten wir irgendwie Sonne, Mond und Regulus in einem bestimmten Augenblick gleichzeitig in Konjunktion, in Zusammenkunft, sehen, so könnten wir bald feststellen, daß die Sonne langsam, der Mond 13mal so rasch von Regulus wegeilt. Nach rund 27 Tagen wäre der Mond als ganz schmale Sichel wieder bei Regulus. Diese rund 27 Tage sind die siderische Umlaufszeit des Mondes. Er braucht dann noch etwas mehr als zwei Tage, um die von Regulus langsam weggewanderte Sonne einzuholen. Will man genau die eine in die andere Umlaufszeit umwandeln, so benützt man, alle Zeiten in Tagen ausdrückend, folgende Formel: Siderischer Monat = synodischer Monat mal 365¼, das ganze Produkt dividiert durch die Summe „365¼ plus synodischer Monat".

(10) Tropischer Umlauf. Zur Feststellung der siderischen

Umlaufszeit könnten wir einen beliebigen Stern, z. B. in der unmittelbarsten Nähe des Frühlingspunktes, heranziehen. Da infolge der Präzession der Frühlingspunkt dem Mond nach einem noch nicht ganz vollendeten siderischen Umlauf entgegenkommt, ist ein tropischer

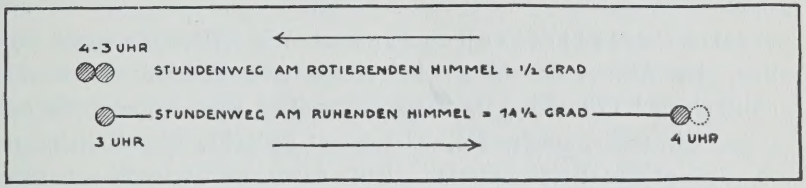


Bild 72. Am rotierenden Himmel, unter den Sternen, wandert der Mond in einer Stunde 1/2 Grad nach links, am ruhenden Himmel in derselben Zeit 14 1/2 Grad nach rechts weiter.

Monat, die Umlaufszeit von Frühlingspunkt bis Frühlingspunkt, etwas kürzer als ein siderischer. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie bei den Planeten. Es ist:

$$\begin{aligned} 1 \text{ siderischer Monat} &= 27^d\ 07^h\ 43^m\ 12^s \\ 1 \text{ tropischer Monat} &= 27^d\ 07^h\ 43^m\ 05^s \\ \hline \text{Unterschied} &= 7^s \end{aligned}$$

Da dieser Unterschied sehr gering ist, tut es nichts zur Sache, wenn wir siderischen und tropischen Monat bei allgemeinen Betrachtungen einander gleichsetzen. Grundsätzlich wichtiger ist die Beziehung auf den Frühlingspunkt, also der tropische Umlauf.

(11) Knotenrücklauf. Der aufsteigende Knoten bleibt nicht immer an derselben Stelle der Ekliptik, er wandert vielmehr von Mondumlauf zu Mondumlauf um etwa 1½ Grad nach rechts. Er ist rückläufig. Die Beträge dieser Knotenrückläufe summieren sich im Verlaufe eines Jahres bei 13maligem Durchschnitt der aufsteigenden Mondbahn mit der Ekliptik zu rund 20 Grad, so daß die 360 Grad der ganzen Ekliptik in 18mal längerer Zeit, genauer in 18,6 Jahren, zurückgelegt werden. Es ist dies derselbe Betrag, den wir bei Besprechung der Nutation angaben. Dabei beschreibt der Pol der Mondbahnebene eine ähnliche Bewegung um den Ekliptikpol wie der Himmelspol infolge der Präzession (Bild 160). Dem Knotenrücklauf entspricht eine Wanderung des Mondbahnpoles, der einen Kreis von etwa 5 Grad Halbmesser um den Ekliptikpol im Gegensinn des

Turmuhrzeigers beschreibt. Da der aufsteigende Mondknoten dem Mond in dessen Umlauf etwas entgegenkommt, ist ein Umlauf von aufsteigendem Knoten zu aufsteigendem Knoten, ein sogenannter drakonitischer oder Knotenmonat, wieder etwas kleiner als ein tropischer.

(12) Anomalistischer Monat. Die früher erwähnte Pulsation, das Atmen der Mondscheibe, hat eine Periode von durchschnittlich $27^d\ 13^h\ 18^m\ 33^s$. Man nennt diese einen anomalistischen Monat. Die Stelle, an der die voll ergänzt gedachte Mondscheibe jeweils ihre größte Fläche erreicht, läuft dabei im Verlaufe von neun Jahren rechtläufig einmal um die Ekliptik, also in einem Jahr durch 40 Grad, für den nach Süden Blickenden von rechts nach links.

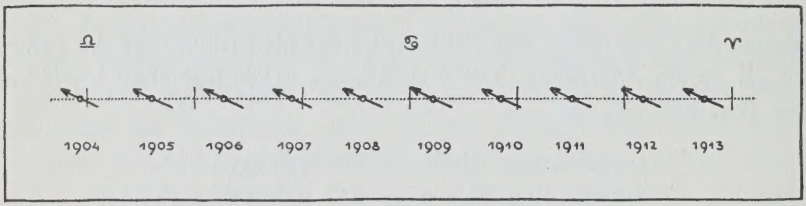


Bild 73. Mondknotenrücklauf. Punktierte Linie bedeutet die Ekliptik, die Pfeile Mondbahnstücke aus 1904 bis 1913, die Ringe die Bahnknoten.

(13) Sarosperiode. Wir stellen die fünf bisher behandelten Mondumläufe ihrer Größe nach zusammen, die kürzeste Periode voran:

Drakonitischer Monat . = $27^d\ 05^h\ 05^m\ 36^s$
Tropischer Monat . . = $27^d\ 07^h\ 43^m\ 05^s$
Siderischer Monat . . = $27^d\ 07^h\ 43^m\ 12^s$
Anomalistischer Monat = $27^d\ 13^h\ 18^m\ 33^s$
Synodischer Monat . . = $29^d\ 12^h\ 44^m\ 03^s$.

Multiplizieren wir diese Zahlen der Reihe nach mit 242, 241, 241, 239 und 223, so erhalten wir jedesmal dieselbe Anzahl von 6585 Tagen, das sind 18 Jahre 10 Tage. Man nennt diesen Zeitraum, in dem also fünferlei verschiedene Umlaufsarten ohne beträchtlichen Rest enthalten sind, die Sarosperiode. Sie spielt in der Voraussage der Finsternisse eine wichtige Rolle.

(14) Ungleichheiten. Von einer Regelmäßigkeit im Um-

lauf des Mondes in seiner Bahn kann noch weniger gesprochen werden, als von einem gleichmäßigen Umlauf der Sonne in der Ekliptik. Die fünf wesentlichsten Ungleichheiten in der Umlaufsgeschwindigkeit des Mondes haben besondere, erst später zu erklärende Namen: Mittelpunktsgleichung, jährliche Gleichung, Variation, parallaktische Gleichung, Evektion. Die vier letzteren Erscheinungen bezeichnet man auch als „Mondstörungen". In diesen Namen bedeutet „Gleichung", ähnlich wie bei der Zeitgleichung beim Sonnenlauf, keine arithmetische Gleichung, sondern eine Korrektur. Stellen wir uns einen „mittleren" Mond vor, der in der Mondbahn mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit umläuft, dann erhalten wir den jeweiligen Ort des wirklichen „wahren Mondes" — die Ausdrücke sind ganz in Anlehnung an die Bezeichnung mittlere und wahre Sonne zu verstehen — wenn wir all die genannten fünf Ungleichheiten für den bestimmten Zeitpunkt mit Rücksicht darauf, ob sie den Mond beschleunigen oder verzögern, berechnen und ihre Summe als Korrektur an den Koordinaten des mittleren Mondes anbringen. Die Tabelle gibt Höchstbeträge und Periode der genannten Ungleichheiten.

Ungleichheiten	Höchstbetrag	Periode
Mittelpunktsgleichung	6^0 17′	anomalistischer Monat
Jährliche Gleichung	11′	anomalistisches Jahr
Variation	39′	halber synodischer Monat
Parallaktische Gleichung	2′	synodischer Monat
Evektion	1^0 16′	32 Tage

Diese fünf Ungleichheiten lassen sich so beschreiben: 1. Die Mittelpunktsgleichung ergibt sich daraus, daß der wahre Mond — ähnlich dem Verhalten der Sonne — beim Pulsationsmaximum rascher, beim Pulsationsminimum langsamer läuft. 2. Die jährliche Gleichung ergibt sich daraus, daß der Mond in seiner Bahn im Sommer rascher, im Winter langsamer läuft. 3. Die Variation folgt aus der Erscheinung, daß die Geschwindigkeit des Mondes bei Neu- und Vollmond ein Maximum, beim ersten und letzten Viertel ein Minimum zeigt. Die Variation ist am größten zwischen je zwei Hauptphasen des Mondes. 4. Die parallaktische Gleichung folgt daraus, daß bei Vollmond die Geschwindigkeit des Mondes in seiner Bahn relativ größer ist, als bei

Neumond. 5. Die Evektion bewirkt unter anderem ein Hin- und Herpendeln des Ortes des Pulsationsmaximums, verkleinert außerdem den Betrag der Mittelpunktsgleichung bei Neu- und Vollmond und vergrößert diese Ungleichheit beim ersten und letzten Viertel. —

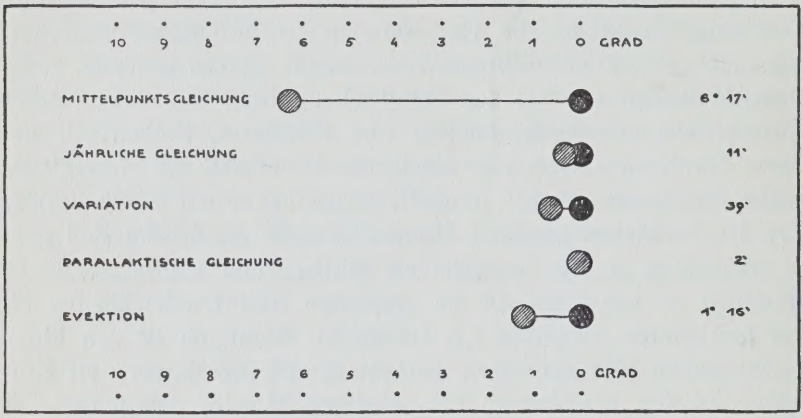


Bild 74. Fünf wichtige Ungleichheiten in der Mondbewegung. Die Entfernungen „schwarzer bis grauer Mond" stellen die erreichbaren Höchstbeträge dar Derartige Ungleichheiten gibt es beim Mond hunderte.

Die drei Kapitel im dritten Teil „Mondkugel", „Mondbahn" und „Dreikörperproblem und Störungen" werden die Betrachtungen dieses einleitenden Mondkapitels zu ergänzen und zu erklären haben.

ZEHNTER ABSCHNITT
HIMMELSTAFELN

Bogen-Zeit-Tafel / Zeit-Bogen-Tafel / Arcustafel / Querlängentafel für 1 Bogensekunde / Kreis- und Kugeltafel / Durchmessertafel der Sonne / Rektaszensions- und Deklinationstafel der Sonne / Zeitgleichungstafel / Stern-Sonnenzeit-Tafel / Sonnen-Sternzeit-Tafel / Präzessionstafel / Durchmessertafel des Mondes / Sternbildertafel / Haufen- und Nebelliste / Sterntafel I: Sterne 1. Größe / Sterntafel II: Sterne 1. und 2. Größe

Anleitung. Die folgenden sechzehn Tafeln bilden Abschluß und Ergänzung der „Astronomie der Himmelskugel", liefern aber zugleich Zahlenmaterial für spätere Abschnitte, z. B. für den letzten, stellaren Teil unseres Buches. Bei Zahlenreihen, die über ein ganzes Jahr laufen, ist im allgemeinen ein- und dasselbe Jahr, 1918, als Standard angenommen. Kleinere Einheiten als ganze Sekunden, sowohl im Bogen- als auch im Zeitmaß, wurden im allgemeinen nicht angeschrieben. Für die Sterntafeln I und II galt der BS-Katalog der Yalesternwarte in New Haven als Grundlage. Sterntafel II enthält die Sterne erster und zweiter Größe einschließlich der veränderlichen Sterne, die im Maximum erste und zweite Größe aufweisen.

(1) BOGEN-ZEIT-TAFEL

Verwandlung von Graden in Stunden und Minuten.

0^0	0h 00m	90^0	6h 00m	180^0	12h 00m	270^0	18h 00m
5	0 20	95	6 20	185	12 20	275	18 20
10	0 40	100	6 40	190	12 40	280	18 40
15	1 00	105	7 00	195	13 00	285	19 00
20	1 20	110	7 20	200	13 20	290	19 20
25	1 40	115	7 40	205	13 40	295	19 40
30	2 00	120	8 00	210	14 00	300	20 00
35	2 20	125	8 20	215	14 20	305	20 20
40	2 40	130	8 40	220	14 40	310	20 40
45	3 00	135	9 00	225	15 00	315	21 00
50	3 20	140	9 20	230	15 20	320	21 20
55	3 40	145	9 40	235	15 40	325	21 40
60	4 00	150	10 00	240	16 00	330	22 00
65	4 20	155	10 20	245	16 20	335	22 20
70	4 40	160	10 40	250	16 40	340	22 40
75	5 00	165	11 00	255	17 00	345	23 00
80	5 20	170	11 20	260	17 20	350	23 20
85	5 40	175	11 40	265	17 40	355	23 40
90^0	6h 00m	180^0	12h 00m	270^0	18h 00m	360^0	24h 00m

(2) ZEIT-BOGEN-TAFEL

Verwandlung von Stunden in Grade.

0^h	0^0	6^h	90^0	12^h	180^0	18^h	270^0
1	15	7	105	13	195	19	285
2	30	8	120	14	210	20	300
3	45	9	135	15	225	21	315
4	60	10	150	16	240	22	330
5	75	11	165	17	255	23	345
6^h	90^0	12^h	180^0	18^h	270^0	24^h	360^0

(3) ARCUSTAFEL

Der Arcus eines Winkels ist die Anzahl der Zentimeter, die dieser Winkel am Umfang des Einheitskreises von 1 Zentimeter Halbmesser einschließt. Die reine Zahl ohne die Benennung Zentimeter heißt Arcuszahl.

Arcus 360^0	=	6,283 185 cm
Arcus 180^0	=	3,141 593 cm
Arcus 90^0	=	1,570 796 cm
Arcus 1^0	=	0,017 453 cm = $1/57$ cm
Arcus $1'$	=	0,000 291 cm = $1/3438$ cm
Arcus $1''$	=	0,000 005 cm = $1/206265$ cm
Arcus 1^h	=	0,261 799 cm
Arcus 1^m	=	0,004 363 cm
Arcus 1^s	=	0,000 073 cm

(4) QUERLÄNGENTAFEL FÜR 1 BOGENSEKUNDE

Die Tafel dient dazu, Querlängen, d. h. senkrecht zur Sehlinie liegende 1 Bogensekunde lang erscheinende Strecken im Metermaß auszudrücken, wenn ihre Entfernung in Kilometern vorliegt. — Beispiel: Ein 1000 Kilometer entferntes Objekt müßte, wenn es unter 1 Bogensekunde erscheint, 5 Meter, genauer 4,84814 Meter, lang sein.

Entfernung in Kilometern	Querlänge = 4,84814 mal oder rund 5 mal	
10 Quadrillionen	10	Trillionen Kilometer
1 Quadrillion	1	„ „
100 000 Trillionen	100 000	Billionen Kilometer
10 000 „	10 000	„ „
1 000 „	1 000	„ „
100 „	100	„ „
10 „	10	„ „
1 Trillion	1	„ „
100 000 Billionen	100 000	Millionen Kilometer
10 000 „	10 000	„ „
1 000 „	1 000	„ „
100 „	100	„ „
10 „	10	„ „
1 Billion	1	„ „
100 Milliarden	100 000	Kilometer
10 „	10 000	„
1 Milliarde	1 000	„
100 Millionen	100	„
10 „	10	„
1 Million	1	„
100 000	100	Meter
10 000	10	„
1 000	1	„
100	10	Zentimeter
10	1	„
1	0,1	„
100 m	0,01	„
10 m	0,001	„
1 m	0,000 1	„
10 cm	0,000 01	„
1 cm	0,000 001	„

(5) KREIS- UND KUGELTAFEL

Vereinfachte Formeln für Kreis- und Kugelberechnungen

Kreisumfang	= Durchmesser × 3,1416
Kreisdurchmesser	= Umfang × 0,3183
Kreishalbmesser	= Umfang × 0,1592
Kugeloberfläche	= Durchmesser × Durchmesser × 3,1416
	= Umfang × Umfang × 0,3183
Kugelinhalt	= Durchmesser × Durchmesser × Durchmesser × 0,5236
	= Umfang × Umfang × Umfang × 0,0169

Bei Kreisen entspricht einem 10 mal größeren Halbmesser
ein 10 mal größerer Umfang,
ein 100 mal größerer Flächeninhalt.
Bei Kugeln entspricht einem 10 mal größeren Halbmesser
ein 10 mal größerer größter Kreis,
eine 100 mal größere Oberfläche,
ein 1000 mal größerer Kubikinhalt.

(6) DURCHMESSERTAFEL DER SONNE

Tag	Durchmesser	Tag	Durchmesser	
I 1.	32′ 35″	VII 10.	31′ 31″	= Minimum Anfang Juli
11.	32 35	20.	31 32	
21.	32 33	30.	31 34	
31.	32 31	VIII 9.	31 36	Maximum 32′ 35″
II 10.	32 28	19.	31 40	Minimum 31 31
20.	32 24	29.	31 44	Unterschied = 1′ 04″
III 2.	32 19	IX 8.	31 48	
12.	32 14	18.	31 54	
22.	32 09	28.	31 59	
IV 1.	32 03	X 8.	32 04	
11.	31 58	18.	32 10	
21.	31 52	28.	32 15	
V 1.	31 47	XI 7.	32 20	
11.	31 43	17.	32 25	
21.	31 39	27.	32 29	
31.	31 36	XII 7.	32 32	
VI 10.	31 33	17.	32 34	
20.	31 32	27.	32 35	
30.	31′ 31″	I 6.	32′ 35″	= Maximum Anf. Januar

(Die Zahlen sind von Jahr zu Jahr veränderlich)

(7) REKTASZENSIONS- UND DEKLINATIONSTAFEL DER SONNE

Tag	Rektaszension	Zunahme in den verflossenen 10 Tagen	Deklination	Zunahme in den verflossenen 10 Tagen
I 1.	$18^h\ 44^m\ 45^s$		$-\ 23^0\ 03'$	
11.	19 28 35	$43^m\ 50^s$	− 21 53	$+\ 1^0\ 10'$
21.	20 11 29	42 54	− 20 01	+ 1 52
31.	20 53 06	41 37	− 17 32	+ 2 29
II 10.	21 33 24	40 18	− 14 31	+ 3 01
20.	22 12 23	38 59	− 11 06	+ 3 25
III 2.	22 50 16	37 53	− 7 24	+ 3 42
12.	23 27 19	37 03	− 3 32	+ 3 52
22.	0 03 53	36 34	+ 0 25	+ 3 57
IV 1.	0 40 15	36 22	+ 4 20	+ 3 55
11.	1 16 47	36 32	+ 8 07	+ 3 47
21.	1 53 48	37 01	+ 11 40	+ 3 33
V 1.	2 31 30	37 42	+ 14 55	+ 3 15
11.	3 10 06	38 36	+ 17 44	+ 2 49
21.	3 49 38	39 32	+ 20 05	+ 2 21
31.	4 30 03	40 25	+ 21 50	+ 1 45
VI 10.	5 11 12	41 09	+ 22 59	+ 1 09
20.	5 52 43	41 31	+ 23 26	+ 0 27
30.	6 34 15	41 32	+ 23 13	− −
VII 10.	7 15 27	41 12	+ 22 19	− 0 54
20.	7 55 57	40 30	+ 20 47	− 1 32
30.	8 35 32	39 35	+ 18 39	− 2 08
VIII 9.	9 14 08	38 36	+ 16 02	− 2 37
19.	9 51 46	37 38	+ 12 58	− 3 04
29.	10 28 35	37 49	+ 9 34	− 3 24
IX 8.	11 04 49	36 14	+ 5 54	− 3 40
18.	11 40 45	35 56	+ 2 05	− 3 49
28.	12 16 41	35 56	− 1 48	− 3 53
X 8.	12 53 00	36 19	− 5 41	− 3 53
18.	13 30 00	37 00	− 9 25	− 3 44
28.	14 08 00	38 00	− 12 57	− 3 32
XI 7.	14 47 15	39 15	− 16 08	− 3 11
17.	15 27 52	40 37	− 18 52	− 2 44
27.	16 09 52	42 00	− 21 02	− 2 10
XII 7.	16 53 05	43 13	− 22 33	− 1 31
17.	17 37 08	44 03	− 23 21	− 0 48
27.	18 21 31	44 23	− 23 21	− −
I 6.	$19^h\ 05^m\ 42^s$	$44^m\ 11^s$	$-\ 22^0\ 35'$	$+\ 0^0\ 46'$

(Die Zahlen sind von Jahr zu Jahr veränderlich)

(8) ZEITGLEICHUNGSTAFEL

Tag	Mittlere minus wahre Zeit	Äußerste und Nullwerte
I 1.	+ 3m 26s	
11.	+ 7 51	
21.	+ 11 19	
31.	+ 13 31	
II 10.	+ 14 23	
		II 12. Maximum (+ 14m 24s)
20.	+ 13 57	
III 2.	+ 12 24	
12.	+ 10 02	
22.	+ 7 10	
IV 1.	+ 4 06	
11.	+ 1 13	
		IV 16. sehr klein
21.	− 1 12	
V 1.	− 2 55	
11.	− 3 45	
		V 15. Minimum (− 3m 49s)
21.	− 3 38	
31.	− 2 38	
VI 10.	− 0 56	
		VI 15. sehr klein
20.	+ 1 11	
30.	+ 3 17	
VII 10.	+ 5 03	
20.	+ 6 08	
		VII 27. Maximum (+ 6m 20s)
30.	+ 6 17	
VIII 9.	+ 5 28	
19.	+ 3 40	
29.	+ 1 03	
		IX 1. sehr klein
IX 8.	− 2 08	
18.	− 5 38	
28.	− 9 07	
X 8.	− 12 14	
18.	− 14 39	
28.	− 16 05	
		XI 3. Minimum (− 16m 21s)
XI 7.	− 16 15	
17.	− 15 04	
27.	− 12 29	
XII 7.	− 8 42	
17.	− 4 05	
		XII 25. sehr klein
27.	+ 0 53	
I 6.	+ 5m 38s	

(Die Zahlen sind von Jahr zu Jahr veränderlich)

(9) STERN-SONNENZEIT-TAFEL

Sternzeit (*) in mittlere Zeit

* 0h	00h 00m 00s
1	00 59 50
2	1 59 40
3	2 59 31
4	3 59 21
5	4 59 11
6	5 59 01
7	6 58 51
8	7 58 41
9	8 58 32
10	9 58 22
11	10 58 12
12	11 58 02
13	12 57 52
14	13 57 42
15	14 57 33
16	15 57 23
17	16 57 13
18	17 57 03
19	18 56 53
20	19 56 43
21	20 56 34
22	21 56 24
23	22 56 14
* 24h	23h 56m 04s

* 0m	00m 00s
1	1 00
2	2 00
3	3 00
4	3 59
5	4 59
6	5 59
7	6 59
8	7 59
9	8 59
10	9 58
11	10 58
12	11 58
13	12 58
14	13 58
15	14 58
16	15 57
17	16 57
18	17 57
19	18 57
* 20m	19m 57s

* 20m	19m 57s
21	20 57
22	21 56
23	22 56
24	23 56
25	24 56
26	25 56
27	26 56
28	27 55
29	28 55
30	29 55
31	30 55
32	31 55
33	32 55
34	33 54
35	34 54
36	35 54
37	36 54
38	37 54
39	38 54
* 40m	39m 53s

* 40m	39m 53s
41	40 53
42	41 53
43	42 53
44	43 53
45	44 53
46	45 52
47	46 52
48	47 52
49	48 52
50	49 52
51	50 52
52	51 51
53	52 51
54	53 51
55	54 51
56	55 51
57	56 51
58	57 51
59	58 50
* 60m	59m 50s

(10) SONNEN-STERNZEIT-TAFEL

Mittlere Zeit in Sternzeit (*)

0h	* 00h 00m 00s
1	1 00 10
2	2 00 20
3	3 00 30
4	4 00 39
5	5 00 49
6	6 00 59
7	7 01 09
8	8 01 19
9	9 01 29
10	10 01 39
11	11 01 48
12	12 01 58
13	13 02 08
14	14 02 18
15	15 02 28
16	16 02 38
17	17 02 48
18	18 02 57
19	19 03 07
20	20 03 17
21	21 03 27
22	22 03 37
23	23 03 47
24h	* 24h 03m 57s

0m	* 00m 00s
1	1 00
2	2 00
3	3 00
4	4 01
5	5 01
6	6 01
7	7 01
8	8 01
9	9 01
10	10 02
11	11 02
12	12 02
13	13 02
14	14 02
15	15 02
16	16 03
17	17 03
18	18 03
19	19 03
20m	* 20m 03s

20m	* 20m 03s
21	21 03
22	22 04
23	23 04
24	24 04
25	25 04
26	26 04
27	27 04
28	28 05
29	29 05
30	30 05
31	31 05
32	32 05
33	33 05
34	34 06
35	35 06
36	36 06
37	37 06
38	38 06
39	39 06
40m	* 40m 07s

40m	* 40m 07s
41	41 07
42	42 07
43	43 07
44	44 07
45	45 07
46	46 08
47	47 08
48	48 08
49	49 08
50	50 08
51	51 08
52	52 09
53	53 09
54	54 09
55	55 09
56	56 09
57	57 09
58	58 10
59	59 10
60m	* 60m 10s

(11) PRÄZESSIONSTAFEL

In den kräftig eingerahmten Feldern stehen die Rektaszensionsstunden, rechts am Rand die Deklinationen.

Präzessionswerte in Bogensekunden

Präzession in Rektaszension	3,1	3,5	3,7	3,8	3,7	3,5	3,1	+ 30°
	3,1	3,3	3,5	3,6	3,5	3,3	3,1	+ 20
	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2	3,1	+ 10
	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	0
	3,1	3,0	2,9	2,8	2,9	3,0	3,1	− 10
	3,1	2,8	2,7	2,6	2,7	2,8	3,1	− 20
	3,1	2,7	2,4	2,3	2,4	2,7	3,1	− 30°
	12h	10	8	6	4	2	0h	
in Deklination	− 20,0	− 17,4	− 10,0	0,0	+ 10,0	+ 17,4	+ 20,0	

Präzession in Rektaszension	3,1	2,7	2,4	2,3	2,4	2,7	3,1	+ 30°
	3,1	2,8	2,7	2,6	2,7	2,8	3,1	+ 20
	3,1	3,0	2,9	2,8	2,9	3,0	3,1	+ 10
	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	0
	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2	3,1	− 10
	3,1	3,3	3,5	3,6	3,5	3,3	3,1	− 20
	3,1	3,5	3,7	3,8	3,7	3,5	3,1	− 30°
	24h	22	20	18	16	14	12h	
in Deklination	+ 20,0	+ 17,4	+ 10,0	0,0	− 10,0	− 17,4	− 20,0	

(12) DURCHMESSERTAFEL DES MONDES

April 1919	Durchmesser	Äußerster Wert	April 1919	Durchmesser	Äußerster Wert
(0.)	33′ 12″				
1.	33 21	Maximum	16.	29′ 28″	Minimum
2.	33 20		17.	29 29	
3.	33 09		18.	29 32	
4.	32 50		19.	29 40	
5.	32 26		20.	29 51	
6.	32 00		21.	30 08	
7.	31 33		22.	30 28	
8.	31 08		23.	30 53	
9.	30 45		24.	31 21	
10.	30 25		25.	31 52	
11.	30 08		26.	32 23	
12.	29 55		27.	32 51	
13.	29 44		28.	33 13	
14.	29 36		29.	33 27	
15.	29 31		30.	33 30	Maximum
16.	29′ 28″	Minimum	(31.)	33′ 23″	

0. April = 31. März. 31. April = 1. Mai

(Die Zahlen sind von Umlauf zu Umlauf veränderlich)

(13) STERNBILDER-TAFEL

(Deutscher und lateinischer Name, sowie dreilettrige Abkürzung)
Anzahl der Sternbilder in Klammer

I. Zone: Zirkumpolarbilder (9)			
1	Kassiopeia	Cassiopeia	Cas
2	Perseus	Perseus	Per
3	Giraffe	Camelopar-	Cam
4	Luchs	Lynx dalis	Lyn
5	Großer Bär	Ursa Maior	UMa
6	Kleiner Bär	Ursa Minor	UMi
7	Drache	Draco	Dra
8	Kepheus	Cepheus	Cep
9	Eidechse	Lacerta	Lac
II. Zone: Tierkreisbilder (12)			
10	Fische	Pisces	Psc
11	Widder	Aries	Ari
12	Stier	Taurus	Tau
13	Zwillinge	Gemini	Gem
14	Krebs	Cancer	Cnc
15	Löwe	Leo	Leo
16	Jungfrau	Virgo	Vir
17	Waage	Libra	Lib
18	Skorpion	Scorpius	Sco
19	Schütze	Sagittarius	Sgr
20	Steinbock	Capricornus	Cap
21	Wassermann	Aquarius	Aqr
III. Zone: Äquatorbilder (11)			
22	Walfisch	Cetus	Cet
23	Orion	Orion	Ori
24	Einhorn	Monoceros	Mon
25	Kleiner Hund	Canis Minor	CMi
26	Wasser-schlange	Hydra	Hya
27	Sextant	Sextans	Sex
28	Schlange	Serpens	Ser
29	Schlangen-träger	Ophiuchus	Oph
30	Schild	Scutum	Sct
31	Adler	Aquila	Aql
32	Füllen	Equuleus	Equ
IV. Zone: Zenitalbilder (15)			
33	Andromeda	Andromeda	And
34	Dreieck	Triangulum	Tri
35	Fuhrmann	Auriga	Aur
36	Kleiner Löwe	Leo Minor	LMi
37	Jagdhunde	Canes Venatici	CVn
38	Berenike	Coma	Com
39	Bootes	Bootes	Boo
40	Krone	Corona Borealis	CrB
41	Herkules	Hercules	Her
42	Leier	Lyra	Lyr
43	Schwan	Cygnus	Cyg
44	Fuchs	Vulpecula	Vul
45	Pfeil	Sagitta	Sge
46	Delphin	Delphinus	Del
47	Pegasus	Pegasus	Peg
V. Zone: Südbilder (7)			
48	Eridanus	Eridanus	Eri
49	Hase	Lepus	Lep
50	Großer Hund	Canis Maior	CMa
51	Schiff Argo	Puppis	Pup
52	Becher	Crater	Crt
53	Rabe	Corvus	Crv
54	Südl. Fisch	Piscis Austrinus	PsA
VI. Zone: Horizontbilder (7)			
55	Bildhauer	Sculptor	Scl
56	Ofen	Fornax	For
57	Grabstichel	Caelum	Cae
58	Taube	Columba	Col
59	Kompaß	Pyxis	Pyx
60	Luftpumpe	Antlia	Ant
61	Mikroskop	Micro-scopium	Mic

VII. Zone: Gegenpolbilder (27)							
62	Tukan	Tucana	Tuc	76	Zentaur	Centaurus	Cen
63	Phönix	Phoenix	Phe	77	Wolf	Lupus	Lup
64	Pendeluhr	Horologium	Hor	78	Zirkel	Circinus	Cir
65	Kl. Wasserschlange	Hydrus	Hyi	79	Südliches Dreieck	Triangulum Australe	TrA
66	Netz	Reticulum	Ret	80	Lineal	Norma	Nor
67	Schwertfisch	Dorado	Dor	81	Paradiesvogel	Apus	Aps
68	Staffelei	Pictor	Pic	82	Altar	Ara	Ara
69	Tafelberg	Mensa	Men	83	Südliche Krone	Corona Australis	CrA
70	Fliegender Fisch	Volans	Vol	84	Fernrohr	Telescopium	Tel
71	Schiffskiel	Carina	Car	85	Pfau	Pavo	Pav
72	Segel	Vela	Vel	86	Kranich	Grus	Gru
73	Chamäleon	Chamaeleon	Cha	87	Indianer	Indus	Ind
74	Südl. Kreuz	Crux	Cru	88	Oktant	Octans	Oct
75	Fliege	Musca	Mus				

Sternbild 38 heißt sonst „Haar", mit dem vollen Namen „Haar der Berenike". Unser „Schiff Argo", Sternbild 51, heißt in der Literatur Schiffshinterteil. Zum Schiff gehören noch die Bilder Schiffskiel, Sternbild 71, und Segel, Sternbild 72. Da in unserer Gegend nur der Schiffshinterteil zu sehen ist, geben wir diesem den Namen des ganzen Schiffes. Die Sternbilder 55 und 56 heißen mit vollem Namen „Bildhauerwerkstätte" und „Chemischer Ofen".

(14) STERNHAUFEN- UND NEBELLISTE

Die M-Liste, d. h. Liste von Messier, enthält hellere Sternhaufen und Nebel. NGC bedeutet den Neuen Generalkatalog von Dreyer, nach dem helle wie schwache Objekte benannt werden.

M-Nr.	Rektaszension und Deklination f. 1900	NGC-Nr.	Sternbild	Objekt
1	(5·29 + 22)	1952	Stier	Gasnebel
2	(21·28 — 01)	7089	Wassermann	Kugelhaufen
3	(13·38 + 29)	5272	Jagdhunde	Kugelhaufen
4	(16·18 — 26)	6121	Skorpion	Kugelhaufen
5	(15·14 + 02)	5904	Schlange	Kugelhaufen
6	(17·34 — 32)	6405	Skorpion	offener Haufen
7	(17·47 — 35)	6475	Skorpion	offener Haufen
8	(17·58 — 24)	6523	Schütze	Gasnebel und Haufen
9	(17·13 — 18)	6333	Schlangenträger	Kugelhaufen
10	(16·52 — 04)	6254	Schlangenträger	Kugelhaufen
11	(18·46 — 06)	6705	Schild	Kugelhaufen
12	(16·42 — 02)	6218	Schlangenträger	Kugelhaufen
13	(16·38 + 37)	6205	Herkules	Kugelhaufen
14	(17·32 — 03)	6402	Schlangenträger	Kugelhaufen
15	(21·25 + 12)	7078	Pegasus	Kugelhaufen
16	(18·13 — 14)	6611	Schlange	offener Haufen
17	(18·15 — 16)	6618	Schütze	Gasnebel
18	(18·14 — 17)	6613	Schütze	offener Haufen
19	(16·56 — 26)	6273	Schlangenträger	Kugelhaufen
20	(17·56 — 24)	6514	Schütze	Gasnebel
21	(17·59 — 23)	6531	Schütze	offener Haufen
22	(18·30 — 24)	6656	Schütze	Kugelhaufen
23	(17·51 — 19)	6494	Schütze	offener Haufen
24	(18·13 — 19)	6603	Schütze	offener Haufen
25	(18·26 — 19)	—	Schütze	offener Haufen
26	(18·40 — 10)	6694	Schild	offener Haufen
27	(19·55 + 23)	6853	Fuchs	Gasnebel
28	(18·18 — 25)	6626	Schütze	Kugelhaufen
29	(20·20 + 38)	6913	Schwan	offener Haufen
30	(21·35 — 24)	7099	Steinbock	Kugelhaufen
31	(0·37 + 41)	224	Andromeda	Spiralnebel
32	(0·37 + 40)	221	Andromeda	Spiralnebel
33	(1·28 + 30)	598	Dreieck	Spiralnebel
34	(2·36 + 42)	1039	Perseus	offener Haufen
35	(6·03 + 24)	2168	Zwillinge	offener Haufen
36	(5·30 + 34)	1960	Fuhrmann	offener Haufen
37	(5·45 + 33)	2099	Fuhrmann	offener Haufen

M-Nr.	Rektaszension und Deklination f. 1900	NGC-Nr.	Sternbild	Objekt
38	(5·22 + 36)	1912	Fuhrmann	offener Haufen
39	(21·28 + 48)	7092	Schwan	offener Haufen
40	—	—	—	—
41	(6·43 — 21)	2287	Großer Hund	offener Haufen
42	(5·30 — 05)	1976	Orion	Gasnebel
43	(5·31 — 05)	1982	Orion	Gasnebel
44	(8·34 + 20)	2632	Krebs	offener Haufen
45	(3·42 + 24)	—	Stier	offener Haufen
46	(7·37 — 15)	2437	Schiff Argo	offener Haufen
47	(7·50 — 15)	2478	Schiff Argo	Sternhaufen
48	(8·09 — 06)	2548	Wasserschlange	offener Haufen
49	(12·25 + 09)	4472	Jungfrau	Spiralnebel
50	(6·58 — 08)	2323	Einhorn	offener Haufen
51	(13·26 + 48)	5194	Jagdhunde	Spiralnebel
52	(23·20 + 61)	7654	Kassiopeia	offener Haufen
53	(13·08 + 19)	5024	Haar der Berenike	Kugelhaufen
54	(18·48 — 31)	6715	Schütze	Kugelhaufen
55	(19·33 — 31)	6809	Schütze	offener Haufen
56	(19·13 + 30)	6779	Leier	Kugelhaufen
57	(18·50 + 33)	6720	Leier	Gasnebel
58	(12·33 + 12)	4579	Jungfrau	Spiralnebel
59	(12·37 + 12)	4621	Jungfrau	Spiralnebel
60	(12·39 + 12)	4649	Jungfrau	Spiralnebel
61	(12·17 + 05)	4303	Jungfrau	Spiralnebel
62	(16·55 — 30)	6266	Schlangenträger	Kugelhaufen
63	(13·11 + 43)	5055	Jagdhunde	Spiralnebel
64	(12·52 + 22)	4826	Haar der Berenike	Spiralnebel
65	(11·14 + 14)	3623	Löwe	Spiralnebel
66	(11·15 + 14)	3627	Löwe	Spiralnebel
67	(8·46 + 12)	2682	Krebs	offener Haufen
68	(12·34 — 26)	4590	Wasserschlange	Kugelhaufen
69	(18·25 — 32)	6637	Schütze	Sternhaufen
70	(18·37 — 32)	6681	Schütze	offener Haufen
71	(19·49 + 19)	6838	Pfeil	Kugelhaufen
72	(20·48 — 13)	6981	Wassermann	Kugelhaufen
73	(20·54 — 13)	6994	Wassermann	Sterngruppe
74	(1·31 + 15)	628	Fische	Spiralnebel
75	(20·00 — 22)	6864	Schütze	Kugelhaufen
76	(1·36 + 51)	650	Perseus	Gasnebel
77	(2·38 — 00)	1068	Walfisch	Spiralnebel
78	(5·42 + 00)	2068	Orion	Gasnebel
79	(5·20 — 25)	1904	Hase	Kugelhaufen

M-Nr.	Rektaszension und Deklination f. 1900	NGC-Nr.	Sternbild	Objekt
80	(16·11 — 23)	6093	Skorpion	Kugelhaufen
81	(9·47 + 70)	3031	Großer Bär	Spiralnebel
82	(9·48 + 70)	3034	Großer Bär	Spiralnebel
83	(13·31 — 29)	5236	Wasserschlange	Spiralnebel
84	(12·20 + 13)	4374	Jungfrau	Spiralnebel
85	(12·20 + 19)	4382	Haar der Berenike	Spiralnebel
86	(12·21 + 14)	4406	Jungfrau	Spiralnebel
87	(12·26 + 13)	4486	Jungfrau	Spiralnebel
88	(12·27 + 15)	4501	Haar der Berenike	Spiralnebel
89	(12·31 + 13)	4552	Jungfrau	Nebel
90	(12·32 + 14)	4569	Jungfrau	Spiralnebel
91	—	—	—	—
92	(17·14 + 43)	6341	Herkules	Kugelhaufen
93	(7·40 — 24)	2447	Schiff Argo	offener Haufen
94	(12·46 + 42)	4736	Jagdhunde	Spiralnebel
95	(10·39 + 12)	3351	Löwe	Spiralnebel
96	(10·42 + 12)	3368	Löwe	Spiralnebel
97	(11·09 + 56)	3587	Großer Bär	Gasnebel
98	(12·09 + 15)	4192	Haar der Berenike	Spiralnebel
99	(12·14 + 15)	4254	Haar der Berenike	Spiralnebel
100	(12·18 + 16)	4321	Haar der Berenike	Spiralnebel
101	(14·00 + 55)	5457	Großer Bär	Spiralnebel
102	—	—	—	—
103	(1·27 + 60)	581	Kassiopeia	offener Haufen

(15) STERNTAFEL I

Sterne erster Größe

(Diese Sterne sind auch in der nächstfolgenden Tafel enthalten)

Nr.	Eigenname	Sternbild	Scheinbare Größe	Spektrum	Jährliche Eigenbewegung in Bogensekunden	Entfernung in Lichtmeilen
1	Sirius	Großer Hund	− 1,58	A o	1,315	8
2	Kanopus	Schiffskiel	− 0,86	F o	0,022	193
3	Toliman	Zentaur	0,06	G o	3,682	4
4	Wega	Leier	0,14	A o	0,348	25
5	Kapella	Fuhrmann	0,21	G o	0,439	49
6	Arkturus	Bootes	0,24	K o	2,287	36
7	Rigel	Orion	0,34	B 8	0,005	514
8	Prokyon	Kleiner Hund	0,48	F 5	1,242	10
9	Achernar	Eridanus	0,60	B 5	0,093	68
10	Beta i. Zent.	Zentaur	0,86	B 1	0,039	154
11	Atair	Adler	0,89	A 5	0,659	15
12	Beteigeuze	Orion	v 0,92	M	0,032	257
13	Alpha i. Kreuz	Südl. Kreuz	1,05	B 1	0,048	205
14	Aldebaran	Stier	1,06	K 5	0,205	54
15	Pollux	Zwillinge	1,21	K o	0,623	28
16	Spika	Jungfrau	1,21	B 2	0,051	181
17	Antares	Skorpion	1,22	M	0,032	154
18	Fomalhaut	Südl. Fisch	1,29	A 3	0,367	25
19	Deneb	Schwan	1,33	A 2	0,004	616
20	Regulus	Löwe	1,34	B 8	0,244	56

Genaue Werte: für Sirius 8,2, Toliman 4,1, Prokyon 9,9 Lichtmeilen.

v bedeutet „veränderlich": Beteigeuze hat scheinbare Größe 0,5 bis 1,1.

(16) STERNTAFEL II

Sterne erster und zweiter Größe

Bei veränderlichen Sternen (v) größte Helligkeit maßgebend

Nr.	Rektaszension u. Deklination für 1900	Sternbild	Buchstabenname	Eigenname	Größe
1	(0°03 + 29)	Andromeda	α Alpha	Sirrah	2,2
2	(0°04 + 59)	Kassiopeia	β Beta	Kolurstern	2,4
3	(0°21 — 43)	Phoenix	α Alpha		2,4
4	(0°35 + 56)	Kassiopeia	α Alpha	Schedir	2,2 v
5	(0°39 — 19)	Walfisch	β Beta	Deneb Kaitos	2,2
6	(0°51 + 60)	Kassiopeia	γ Gamma		2,3
7	(1°04 + 35)	Andromeda	β Beta	Mirach	2,4
8	(1°23 + 89)	Kleiner Bär	α Alpha	Polarstern	2,3 v
9	(1°34 — 58)	Eridanus	α Alpha	Achernar	0,6
10	(1°58 + 42)	Andromeda	γ Gamma	Alamak	2,1
11	(2°02 + 23)	Widder	α Alpha	Hamal	2,2
12	(2°14 — 03)	Walfisch	o Omikron	Mira	1,7 v
13	(3°02 + 41)	Perseus	β Beta	Algol	2,1
14	(3°17 + 50)	Perseus	α Alpha	Algenib	1,9
15	(4°30 + 16)	Stier	α Alpha	Aldebaran	1,1
16	(5°09 + 46)	Fuhrmann	α Alpha	Kapella	0,2
17	(5°10 — 08)	Orion	β Beta	Rigel	0,3
18	(5°20 + 06)	Orion	γ Gamma	Bellatrix	1,7
19	(5°20 + 29)	Stier	β Beta	Nath	1,8
20	(5°27 — 00)	Orion	δ Delta	Mintaka	2,4
21	(5°31 — 01)	Orion	ε Epsilon	Alnilam	1,8
22	(5°36 — 02)	Orion	ζ Zeta		1,9
23	(5°43 — 10)	Orion	ϰ Kappa		2,2
24	(5°50 + 07)	Orion	α Alpha	Beteigeuze	0,5 v
25	(5°52 + 45)	Fuhrmann	β Beta		2,3 v
26	(6°18 — 18)	Großer Hund	β Beta		2,0
27	(6°22 — 53)	Schiffskiel	α Alpha	Kanopus	-0,9
28	(6°32 + 16)	Zwillinge	γ Gamma	Elhena	1,9
29	(6°41 — 17)	Großer Hund	α Alpha	Sirius	-1,6
30	(6°55 — 29)	Großer Hund	ε Epsilon		1,6
31	(7°04 — 26)	Großer Hund	δ Delta	Wezen	2,0
32	(7°20 — 29)	Großer Hund	η Eta		2,4
33	(7°28 + 32)	Zwillinge	α Alpha	Kastor	1,5
34	(7°34 + 05)	Kleiner Hund	α Alpha	Prokyon	0,5
35	(7°39 + 28)	Zwillinge	β Beta	Pollux	1,2
36	(8°00 — 40)	Schiff Argo	ζ Zeta		2,3
37	(8°06 — 47)	Segel	γ Gamma		2,1
38	(8°20 — 59)	Schiffskiel	ε Epsilon		1,7

Nr.	Rektaszension u. Deklination für 1900	Sternbild	Buchstabenname	Eigenname	Größe
39	(8·42 — 54)	Segel	δ Delta		2,0
40	(9·04 — 43)	Segel	λ Lambda		2,2
41	(9·12 — 69)	Schiffskiel	β Beta		1,8
42	(9·14 — 59)	Schiffskiel	ι Jota		2,3
43	(9·23 — 08)	Wasserschlange	α Alpha	Alphard	2,2
44	(10·03 + 12)	Löwe	α Alpha	Regulus	1,3
45	(10·14 + 20)	Löwe	γ Gamma	Algieba	2,3
46	(10·41 + 59)	Schiffskiel	η Eta		1 v
47	(10·56 + 57)	Großer Bär	β Beta	Merak	2,4
48	(10·58 + 62)	Großer Bär	α Alpha	Dubhe	2,0
49	(11·44 + 15)	Löwe	β Beta	Denebola	2,2
50	(12·21 — 63)	Südliches Kreuz	α Alpha		1,1
51	(12·26 — 57)	Südliches Kreuz	γ Gamma		1,6
52	(12·36 — 48)	Zentaur	γ Gamma		2,4
53	(12·42 — 59)	Südliches Kreuz	β Beta		1,5
54	(12·50 + 57)	Großer Bär	ε Epsilon	Alioth	1,7
55	(13·20 + 55)	Großer Bär	ζ Zeta	Mizar	2,2
56	(13·20 — 11)	Jungfrau	α Alpha	Spika	1,2
57	(13·44 + 50)	Großer Bär	η Eta	Benetnasch	1,9
58	(13·57 — 60)	Zentaur	β Beta		0,9
59	(14·01 — 36)	Zentaur	ϑ Theta		2,3
60	(14·11 + 20)	Bootes	α Alpha	Arkturus	0,2
61	(14 33 — 60)	Zentaur	α Alpha	Toliman	0,1
62	(14·51 + 75)	Kleiner Bär	β Beta	Kochab	2,2
63	(15·30 + 27)	Krone	α Alpha	Gemma	2,3
64	(16·23 — 26)	Skorpion	α Alpha	Antares	1,2
65	(16·38 — 69)	Südl. Dreieck	α Alpha		1,9
66	(16·44 — 34)	Skorpion	ε Epsilon		2,4
67	(17·27 — 37)	Skorpion	λ Lambda	Lesath	1,7
68	(17·30 — 43)	Skorpion	ϑ Theta		2,0
69	(17·30 + 13)	Schlangenträger	α Alpha	Rasalhague	2,1
70	(17·54 + 52)	Drache	γ Gamma	Ettanin	2,4
71	(18·18 — 34)	Schütze	ε Epsilon		2,0
72	(18 34 + 39)	Leier	α Alpha	Wega	0,1
73	(18·49 — 26)	Schütze	σ Sigma		2,1
74	(19·46 + 09)	Adler	α Alpha	Atair	0,9
75	(20·18 — 57)	Pfau	α Alpha		2,1
76	(20·19 + 40)	Schwan	γ Gamma		2,3
77	(20·38 + 45)	Schwan	α Alpha	Deneb	1,3
78	(22·02 — 47)	Kranich	α Alpha		2,1
79	(22·37 — 47)	Kranich	β Beta		2,2
80	(22·52 — 30)	Südlicher Fisch	α Alpha	Fomalhaut	1,3

ZWEITER TEIL
Astronomie des Erdballs

ERSTER ABSCHNITT

ERDKUGEL

Stern und Pappel / Polhöhenmessungen / Erdkugel / Größe der Erde / Mondkugel / Mondentfernung und Größe / Sonnenball / Sphärisch und „räumlich" / Entfernungsmessung / Milliardstel Maßstab / Erdkrümmung / Erdpole und Erdäquator / Parallelkreise und geographische Breite / Geodätische Linie / Meridiane und geographische Länge / Zonenmeridiane

(1) Stern und Pappel. Wir stellen uns südlich von einer Pappel, einige Schritte weit von ihr entfernt, auf (Bild 75), ziehen in Augenhöhe den Horizont und bestimmen den Winkel, den unsere Sehlinie zur Pappelspitze mit der Horizontebene einschließt. Wir messen gleichzeitig die Höhe des Himmelspoles und finden beispielsweise 48 Grad. Nun treten wir einige Schritte südwärts zurück. Für die

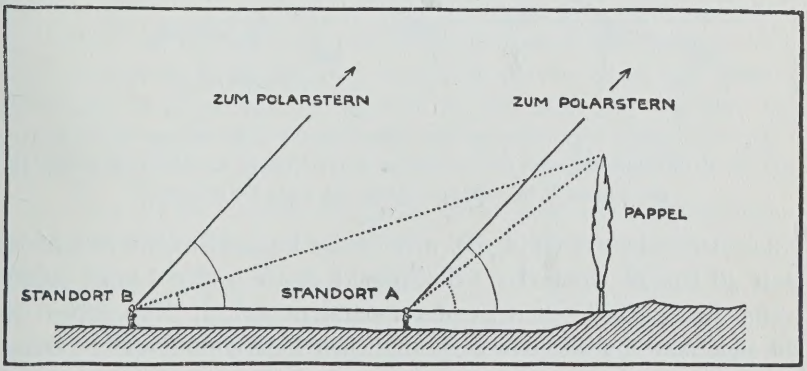


Bild 75. Stern und Pappel. Bei irdischen Gegenständen ändert sich die Winkelhöhe schon bei geringer Änderung des Standortes, bei Sternen nicht.

Pappelspitze wird der Höhenwinkel bedeutend kleiner als zuvor. Die Polarsternhöhe bleibt dieselbe. Da der Polarstern „unendlich weit" entfernt ist, sind die Linien Auge - Polarstern für beide Standorte einander parallel. Für himmliche Objekte ändert sich also die Höhe nicht, wenn wir uns soundso viel Meter oder mehr nordwärts oder

südwärts bewegen. Für irdische Gegenstände stimmt die Regel nicht.

(2) Polhöhenmessungen. Wir machen einen dem eben beschriebenen Gedankenversuch ähnlichen, allerdings gleich in kühnstem Maßstab, gehen von unserem Beobachtungsort aus 111,111

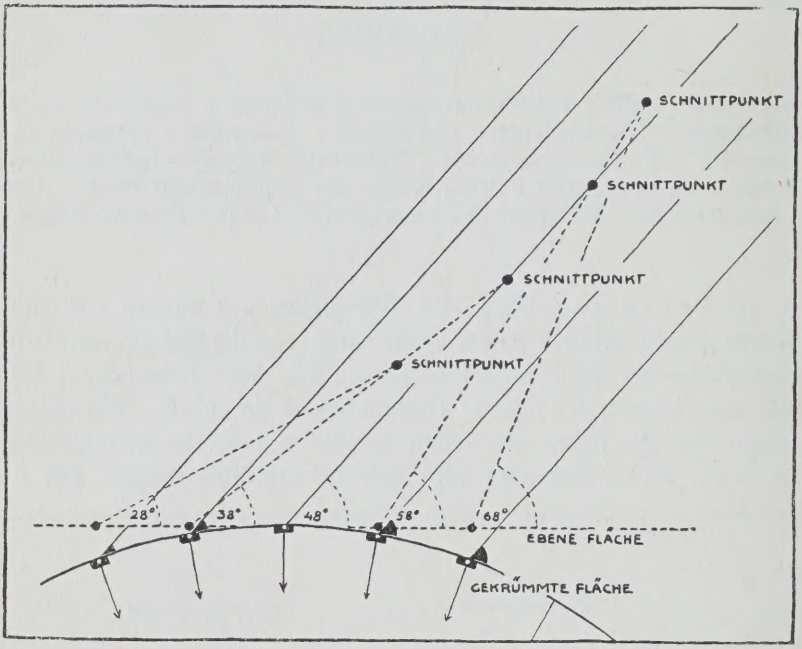


Bild 76. Erdkrümmung. Bei der Annahme einer ebenen Erdoberfläche entsteht der offene Widerspruch: unzählig viele Polarsterne.

Kilometer südwärts (Bild 76), messen die Polarsternhöhe und finden statt 48 nur 38 Grad. Im Schnittpunkt dieser beiden Linien müßte, wenn die Erdfläche eben ist, der Polarstern stehen. Nun gehen wir ein andermal von unserem ursprünglichen Beobachtungsort 111,111 Kilometer nordwärts, messen wieder die Polarsternhöhe und finden 58 Grad. Wenn die Erde eine Ebene ist, so muß sich der Polarstern nach dieser Messung in einem anderen Schnittpunkt befinden als in den beiden Fällen zuvor. Ja, wir würden auf dem in unserem Bild angegebenen gesamten Reiseweg vier voneinander verschiedene Schnittpunkte erhalten, hätten also, wenn wir nicht auf die absurde Idee verfallen wollten, vier Polarsterne für möglich zu halten, einen offenbaren Widerspruch. Er verschwindet jedoch, wenn wir die Erde als ge-

krümmt annehmen. Dann können bei Beibehaltung der in den einzelnen Stationen gemessenen Höhenwinkel die Linien zum Stern sämtlich zueinander parallel sein. Es mag sein, daß sie sich, wer weiß wo, schneiden. Da wir dies aber nicht messend ermitteln können, stellen wir eben gleiche Richtungen fest. Es ergibt sich jedenfalls eine Erdkrümmung in der Nordsüdrichtung, und ähnliche Überlegungen wie vorhin zeigen, daß die Erde auch nach Ost und nach West, ja nach allen Richtungen, gleichmäßig gekrümmt ist — wie eine Kugel. Die verschiedentlichen Messungen ergeben keinen Widerspruch. Nehmen wir die gestrichelte Waagrechte in unserem Bild als Ausgangslinie, dann neigt sich der Boden bis zur benachbarten südlichen Station um 10 Grad, denn nur so können die 38 Grad Polhöhe zustande kommen; dann neigt er sich, wenn wir weiter südwärts wandern, neuerdings um 10 Grad, so daß die Richtungen der ins Erdinnere zeigenden Pfeile untereinander je 10 Grad in der Mitte des Erdkörpers einschließen. Von Station zu Station zählen wir also je 10 Grad Erdumfang. Wenn aber die Erde wirklich kugelrund ist, müssen wir, sowie wir den soliden Beobachtungsort, unser Heim, unser liebstes Fenster, unsere ständige Station auf dem nachbarlichen Hügel, oder unsere Sternwarte verlassen, die Begriffe „oben" und „unten" neu definieren. Sie sind relativ geworden. „Unten" bezeichnet jetzt die Richtung gegen die Erdmitte zu, „oben" die von der Erdmitte weg. Sprechen wir von Oben und Unten am Himmel, so sollen dies nur kürzere Ausdrucksweisen sein für: in der Richtung gegen den Zenitpunkt zu und in der Richtung vom Zenitpunkt weg.

(3) Erdkugel. Daß die Erde eine ganz vorschriftsmäßige Kugel sei, dürfte nicht von allen gleich von vornherein ohne Bedenken aufgenommen werden. Wir versichern den Zweiflern aber, unserer wissenschaftlichen Verantwortung vollkommen bewußt, daß sie wirklich eine solche ist. Wir müssen diese unsere Behauptung freilich noch erläutern. Unsere Erde ist, um es richtiger auszudrücken, eine wirkliche Kugel, allerdings nur „in erster Annäherung", wie man zu sagen pflegt. Bei näherer Untersuchung müssen wir die Erdgestalt mit anderen Körpern in Vergleich ziehen, etwa mit einer Art „zusammengedrückter Kugel" — wenn der Ausdruck erlaubt ist. Trotzdem wird die Annahme einer vollkommenen, wirklichen, mathematischen Kugel zur Beschreibung der Erde für unsere ersten Absichten nicht nur ausreichen, sondern auch notwendig sein.

(4) Größe der Erde. Zehn Graden an der Erdoberfläche entsprechen nach dem vorletzten Kapitel 111,111 Kilometer. Da der Erdumfang, wie jeder Kreis, 360 Grad faßt, also 36mal größer ist, als ein Zehngradstück, so finden wir den Erdumfang, indem wir 111,111 Kilometer mit 36 multiplizieren. Dies ergibt 40 000 Kilometer. Aus dem Umfang finden wir den Halbmesser nach der in den Himmelstafeln (S. 127) gegebenen Formel durch Multiplikation mit 0,1592. Wir erhalten so:

Erdumfang	= 40 000 Kilometer
Erdquadrant	= 10 000 Kilometer
Erdhalbmesser	= 6 370 Kilometer
Erddurchmesser	= rund 13 000 Kilometer.

Quadrant ist ein Viertelkreis, Erdquadrant der vierte Teil des Erdumfanges. Wir fügen noch weitere Zahlen für die Erdoberfläche hinzu:

1 Grad	= 111,11 Kilometer
1 Bogenminute	= 1852 Meter
1 Bogensekunde	= 31 Meter
$^1/_{10}$ Bogensekunde	= 3,1 Meter
$^1/_{100}$ Bogensekunde	= 31 Zentimeter
Erdoberfläche	= rund 500 Millionen Quadratkilometer
Erdinhalt	= rund 1 Billion Kubikkilometer.

Wer die ganze Erde auf die eine Schale einer Waage legen wollte, müßte sechs Quadrillionen Kilogramm auf die andere Seite schaffen, um Gleichgewicht herzustellen. Vielleicht werden wir in unserem Gedankenversuch unterstützt, wenn wir die Erde über alle Maßen zusammenpressen, über alle Möglichkeit hinaus in den Bereich unserer zauberhaften Waage drängen. Wer es wissen will, dem teilen wir noch mit, daß man, mit Lichtgeschwindigkeit begabt, bloß $^1/_7$ Sekunde brauchte, um um die Erde herumzukommen. Ein Luftschiff braucht 20, eine Eisenbahn 40, ein Fußgänger 1000 Tage, die aus solchen Tabellen berühmt gewordene Schnecke endlich ein Jahrtausend, um den Erdumfang zu erledigen.

(5) Mondkugel. Ist unsere Erde eine materielle Kugel, so ist die Frage gerechtfertigt, ob sie die einzige in der Welt sei, denn eine nur gedachte Kugel ist ja z. B. schon der astronomische Himmel.

Vielleicht sind Sonne und Mond, die wir bisher aus guten Gründen als zur flächenhaften Himmelskugel gehörige Scheiben betrachteten, Kugeln! — Die Frage ist zu bejahen. Sichtbare Beweise müssen wir später bringen, sind aber überzeugt, daß sie niemand besonders gespannt erwartet. Erde, Mond und Sonne sind Kugeln, die Sonne eine leuchtende, Mond und Erde sind von ihr beleuchtet. Stehen die Mittelpunkte dieser drei Kugeln nahe in einer geraden Linie, dann ent-

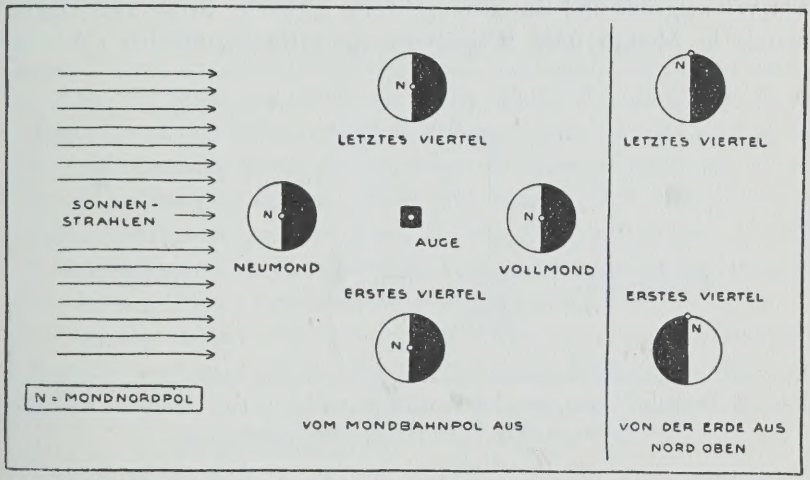


Bild 77. Entstehung der Mondphasen. Vom Mondbahnpol aus gesehen immer dasselbe Mondbild. Rechts Anblick von der Erde aus.

stehen Finsternisse, und zwar eine Sonnenfinsternis, wenn der Mond die Sonne verdeckt, eine Mondfinsternis, wenn der Mond in den Schatten der Erde taucht. Ein ganzer Abschnitt „Finsternisse" wird diesen Erscheinungen gewidmet sein. Die Sonne ist, wie wir bald sehen werden, viel weiter als der Mond. Wir können den Mond um die Erde kreisen lassen und die Strahlen der weiten Sonne als parallel ansehen. Die der Sonne zugekehrte Mondhälfte ist hell (Bild 77 links). Versetzen wir uns in Gedanken dorthin, wohin wir gehören, auf die Erde, so sind die Mondphasen bald erklärt. Ist für uns die rechte Hälfte hell, so ist erstes Viertel, ist die linke hell, letztes. Bei Vollmond ist die ganze helle, bei Neumond die ganze dunkle Mondhälfte uns zugekehrt. Zwischenphasen zeigt Bild 66. Das aschgraue Licht ist nichts anderes als das von der sonnbeschienenen Erdhälfte auf den Teil der Mondoberfläche zurückgeworfene Sonnen-

licht, der den direkten Sonnenstrahlen nicht ausgesetzt ist, sich also im Selbstschatten der Mondkugel befindet.

(6) Mondentfernung und Größe. Vielleicht ist es, nachdem wir uns über die Größe der Erdkugel unterrichten ließen, am Ort, jetzt schon wenigstens über die Größe der Sonnen- und Mondkugel etwas zu erfahren. Die Aufgabe hängt unmittelbar mit der Frage nach der Entfernung dieser Himmelskörper zusammen, denn aus Winkelgröße und Entfernung ist die wirkliche Größe aller Gegenstände in Metern oder Kilometern eindeutig bestimmbar. Wir er-

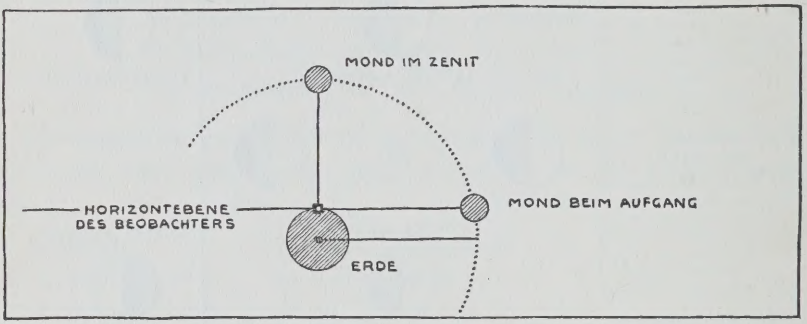


Bild 78. Zenitaler Mond. Er ist dem Beobachter um 1/60 näher als der auf- oder untergehende. Zum Thema: Mondentfernung

wähnten im Abschnitt über den Mondlauf, daß der Mond, wenn er vom Horizont aus immer höher und höher steigt, seinen Winkeldurchmesser derart verändert, daß er im Zenit um $^1/_{60}$ größer ist, als beim Aufgang. So ergibt sich die Möglichkeit einer Entfernungsmessung, wie folgt: Wir nehmen zunächst an, daß die Mondkugelmitte von der Erdmitte immer gleich weit absteht und stellen uns den Mond beim Aufgang und im Zenit gezeichnet vor (Bild 78). Die horizontale Entfernung von unserem Auge bis zum Mond ist gewiß ohne nennenswerten Fehler gleich der Entfernung Erde-Mond. Im Zenit ist der Winkeldurchmesser der Mondscheibe um $^1/_{60}$ größer, als im Horizont. Dies kann so erklärt werden, daß wir ihm jetzt um $^1/_{60}$ näher sind, als im Fall des Mondaufganges. Anders ausgedrückt ist die Entfernung Erde-Mond rund 60mal größer als der Erdhalbmesser, das wären 6370 Kilometer mal 60 = 382 200 Kilometer. Genaue Messungen ergaben:

Mondentfernung = 384 000 Kilometer.

Nun bildet unser Auge mit linkem und rechtem Ende des waagrechten Monddurchmessers ein schmales Dreieck. Querseite ist der Monddurchmesser, Längsseite die Mondentfernung. Die Arcuszahl für die 31 Bogenminuten des Monddurchmessers ergibt sich aus der Arcustafel (S. 125) zu 0, 009021. Nach dem Satz vom schmalen Dreieck ist die Querseite, d. h. der Monddurchmesser, gleich der Längsseite 384 000 Kilometer mal dieser Arcuszahl, also: Monddurchmesser = 3464 Kilometer. Das genauere Ergebnis ist:

Monddurchmesser = 3480 Kilometer.

Auf die Erde projiziert würde der Mond Europa zudecken, von Kreta bis zu den Hebriden. — Das Gewicht des Mondes beträgt rund $^1/_{81}$ von dem der Erde. Es wird später gesagt werden, wie man zu derlei Ergebnissen kommt. Erde und Mond, durch eine gewichtlose Stange verbunden gedacht, gäben ein Modell, dessen Schwerpunkt der Erdmitte 81mal näher liegen müßte, als dem Mond. Er läge innerhalb des Erdballs, 1630 Kilometer unter der Erdoberfläche.

(7) Sonnenball. Im Grunde genommen kann die Sonnenentfernung — praktisch ein überaus schweres Problem — folgender-

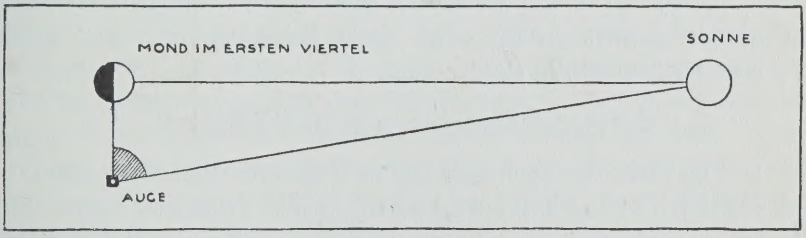


Bild 79. Dichotomie. Aus dem schraffierten Winkel ist das Verhältnis „Sonnenentfernung: Mondentfernung" bestimmbar.

maßen bestimmt werden. Wenn der Mond eine Kugel ist und bei jeder Phase die Kreisrundung, wie wir sehen, der Sonne zugekehrt ist, müssen beim ersten Viertel die Sonnenstrahlen auf der im Bild deutlich hervorgehobenen Schattengrenze, dem sogenannten Terminator, senkrecht stehen (Bild 79). Der Winkel Mond - Auge - Sonne beträgt nun nach den genauesten Messungen nicht 90°, wie wir es erwarten sollten, wenn die Sonne unmeßbar weit wäre, denn dann wären die Strahlen Sonne - Mond und Sonne - Erde einander parallel, sondern es mißt dieser Winkel nur 89° 51′. — Konstruieren wir

ein rechtwinkeliges Dreieck mit diesem Winkel, so finden wir, daß es überaus schmal, etwa 400mal länger als breit ist. Es muß also die Sonne von uns etwa 400mal weiter liegen als der Mond. 384 000 Kilometer mal 400 ergibt 153 600 000 Kilometer. Aus genaueren Daten ergibt sich:

Sonnenentfernung = 149,4 Millionen Kilometer.

Man nennt diese Strecke, für die wir rund 150 Millionen schreiben wollen, als kosmisches Längenmaß „eine astronomische Einheit". Sie beträgt etwa 23 500 Erdhalbmesser und ist so lang, daß das Licht, das in einer Sekunde 300 000 Kilometer durcheilt, $8^1/_3$ Minuten, ein Geschoß 9, der Schall 15, ein Eisenbahnzug 400 Jahre brauchte, um von der Erde zur Sonne zu gelangen, wenn — — — usw. Der gemeinsame Schwerpunkt des Systems Sonne-Erde liegt, da die Sonne 332 000mal schwerer ist als die Erde, der Sonnenmitte sovielmal näher als der Erdmitte, und zwar im Sonnenkörper drin, bloß 450 Kilometer von der Sonnenmitte entfernt, was weniger als den 3000sten Teil des Sonnendurchmessers ausmacht. — Sonne und Mond erscheinen uns etwa unter demselben Winkel von ½ Grad. Ist die Sonne 400mal weiter als der Mond, dann muß sie infolgedessen auch querdurch 400mal größer sein. 3480 Kilometer mal 400 ergibt 1 392 000 Kilometer, in runder Zahl:

Sonnendurchmesser = 1 390 000 Kilometer.

Das Gewicht der Sonne beträgt zwei Quintillionen Kilogramm.

(8) Sphärisch und „räumlich". Trotzdem Sonne und Mond verschieden weit entfernt sind, wird unsere Vorstellung von einer Himmelskugel, auf der sich beide gemeinsam, sei es als Körper oder als Scheiben bewegen, gelegentlich auch weiter die besten Dienste

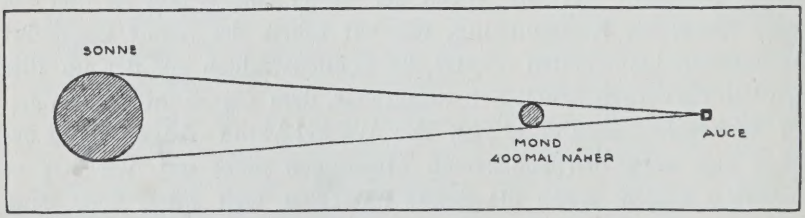


Bild 80. Sonne 400mal weiter und querdurch 400mal größer als der Mond. Gemeinsamer erdzentrischer Winkel 1/2 Grad

leisten zur Bestimmung von Richtungen im All. Wir müssen im Stande sein, uns jeden Gegenstand, sei es eine Pappelspitze, der Mond oder die 400mal weitere Sonne, jederzeit auf einer Himmelskugel liegend vorzustellen, wobei für alle Objekte die gleiche Entfernung beansprucht wird, oder auch wieder die Gegenstände, so gut wir es in unserer Vorstellung vermögen, in räumlich hintereinander liegende Anordnung zu bringen. Die erste Art der Betrachtung nennt man die sphärische, die zweite allgemein die „räumliche". Der letzte Ausdruck ist nicht geschickt, denn die sphärische Betrachtung ist natürlich auch eine räumliche, wenn auch von besonderer Art. Die Nichtbeachtung dessen, daß beide Betrachtungsweisen stets deutlich auseinandergehalten werden müssen, ist oft die verborgene Quelle unklarer Beschreibungen.

(9) Entfernungsmessung. Die beiden eben behandelten Methoden der Entfernungsmessung sind ganz spezieller Art. Da die Astronomie so recht auch die Wissenschaft von der Distanzbestimmung ist, müssen wir uns mit der Aufgabe grundsätzlich auseinandersetzen. Wir zeichnen auf ein auf glatten Boden gelegtes Papier ein Dreieck, bei dem eine Seite 1 Meter oder 1000 Millimeter und die beiden anliegenden Winkel 80 und 85 Grad groß sind. Der dritte Winkel mißt dann 15 Grad. Ideale Zeichenmöglichkeit vorausgesetzt, muß die eine Seite 3849 und die andere 3805 Millimeter lang sein. Es sind im allgemeinen durch drei Stücke eines Dreieckes die anderen gegeben, sei es, daß wir die neuen Stücke konstruieren oder — berechnen, denn was sich konstruieren läßt, läßt sich auch rechnerisch ermitteln. Die hiezu nötige Rechnungsart heißt recht einleuchtend Dreiecksrechnung, auch Trigonometrie. Trigonometrisch wird z. B. auch die Höhe eines Kirchturmes gemessen. Man legt durch die Turmspitze ein vertikales Dreieck, mißt dessen Grundlinie und die beiden Winkel, die diese mit den zur Spitze gezogenen Visierlinien einschließt, und kann aus diesen drei Stücken alles berechnen. Wir könnten dieses Verfahren gelegentlich auch die Kirchturmmethode nennen. Daß es bei sehr spitzen Dreiecken, wenn also im Verhältnis zur Höhe die Grundlinie sehr klein ist, praktisch zu Schwierigkeiten führt, darum wollen wir uns hier nicht weiter kümmern. Wir setzen ideale Instrumente, ideale Maße und ideal talentierte Beobachter voraus. Im übrigen hilft uns der Satz vom schmalen Dreieck, durch dessen Anwendung die Trigonometrie umgangen werden kann.

(10) Milliardstel Maßstab. Für viele Fälle ist es wünschenswert, sich astronomische Gegenstände in einem einheitlichen kleinen Maßstab verjüngt vorzustellen, z. B. im Milliardstelmaßstab. In diesem sind alle Gegenstände der Natur 1 000 000 000mal linear zu verkleinern. Hier wird aus einer Million Kilometern der Natur ein Stück von 1 Meter Länge — ein großer Schritt auf dem Pflaster. Aus 1000 Kilometern der Natur — eine Reise von Wien bis Paris — wird ein winziges Millimeter. Aus den 4 Milliarden Zentimetern des Erdumfanges werden im Milliardstelmaßstab 4 Zentimeter. Der

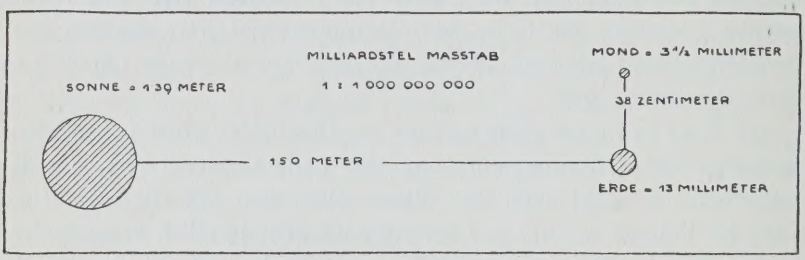


Bild 81. Milliardstel-Maßstab, auch „planetarer" genannt. Erde eine Haselnuß, Mond eine Erbse, Sonne so groß wie ein Wagenrad. Reise Wien-Paris ein Millimeter

Bogen vom Pol bis zum Äquator mißt in unserem Liliputmodell 10, der Erddurchmesser 13 Millimeter. Die Erde wird zur Haselnuß. Im selben Maßstab ist der Mond eine Erbse von 3½ Millimetern Durchmesser in 38 Zentimetern Entfernung von der Haselnuß. Die Sonne erhält 1,39 Meter Durchmesser und schwebt, so groß wie ein Wagenrad, 150 Meter weit von der Erde.

(11) Erdkrümmung. Wäre die Erde eine unendlich große Ebene, so müßte man theoretisch von jedem Punkt aus, direkte Hindernisse weggedacht, unendlich weit sehen können. Infolge der Erdkrümmung können wir nur begrenzte Kreisflächen überblicken. Wir sehen aus einer Höhe von 10 Metern 12 Kilometer, aus einer Höhe von 100 Metern 38 und aus einer Höhe von 1000 Metern 120 Kilometer weit usw. In den Erdtafeln am Ende dieses zweiten Teiles finden wir verschiedene solche Sichtweiten. — Zwei Beispiele sollen uns zeigen, wie „tief" verschieden entfernte Erdpunkte unterhalb des Horizontes unseres Beobachtungsortes liegen. Ein 8 Kilometer weiter Punkt liegt 5 Meter „tief". In der Mitte des 1200 Kilometer langen Kas-

pischen Sees würden dessen Enden 28 Kilometer unter dem Horizont sich befinden, anders ausgedrückt, müßte eine Kugelkappe der Erde, die den ganzen Kaspischen See enthält, 28 Kilometer hoch sein.

(12) Erdpole und Erdäquator. Wenn wir auch unsere Erde als vollkommen kugelförmig ansehen dürfen, so sind doch ihre Punkte astronomisch durchaus nicht gleichwertig. Insbesondere nennen wir den Punkt der Erde, für den der Himmelspol im Zenit steht, den Nordpol der Erde. Ihm gegenüber haben wir den irdischen Südpol. Die Strecke zwischen beiden nennen wir die Erdachse in engerem Sinn. Die durch diese gegebene unendliche Gerade die Erdachse schlechthin. Der auf der Erdoberfläche gezogene Kreis, der von irdischem Nordpol und Südpol gleich weit absteht, ist der Erdäquator, seine sämtlichen Punkte sind vom Nordpol wie vom Südpol 90 Grad oder 10 000 Kilometer entfernt.

(13) Parallelkreise und geographische Breite. Ein Kreis der Erdoberfläche, der parallel zum Erdäquator gezogen wird, heißt irdischer Parallelkreis oder irdischer Parallel. Seine Entfernung vom Äquator, auf der Erdoberfläche in Graden gemessen, nennen wir die geographische Breite des betreffenden Parallelkreises. Der Äquator selbst kann als Parallelkreis mit der geographischen Breite Null bezeichnet werden, ebenso der Nordpol oder Südpol der Erde als unendlich kleine Parallelkreise mit der geographischen Breite 90 Grad. Geographische Breite eines Erdortes nennen wir die Gradzahl, die dem durch den Erdort gehenden Parallelkreis entspricht.

(14) Geodätische Linie. Wir müssen auf der Erdkugel größte und andere, sogenannte Nebenkreise, so wie auf der Himmelskugel streng auseinander halten. Eine Reise von Europa aus immer genau westlich führt — auf einem Parallel — über die Vereinigten Staaten oder Kanada, dann nach Überquerung des Großen Ozeans über Rußland, vielleicht auch China, nach Europa zurück. Eine in westlicher Richtung begonnene Reise immer „geradeaus“ müßte im größten Kreis, also wirklich „um die Erde“, über Südamerika, Venezuela, zu den Gegenfüßern bei Neuseeland und dann etwa über Australien und Sumatra heimführen. Die letztbeschriebene Fahrt ist etwa um die Hälfte länger als die erste. Bild 82 zeigt zunächst die Verbindung zweier Erdorte auf deren Parallel als Ostwestlinie, dann die auf dem größten Kreis, die sogenannte geodätische Linie, d. h. kürzeste Strecke auf der Erdoberfläche im Gegensatz zur wirklich kür-

zesten im Raum, die man sonst auch die „Luftlinie“ nennt, eine Bezeichnung, die hier allerdings kaum zu verteidigen ist, weil sie sonderbarerweise die einzige der drei Verbindungen ist, die überhaupt nicht durch die Luft, sondern durch den soliden Erdkörper geht.

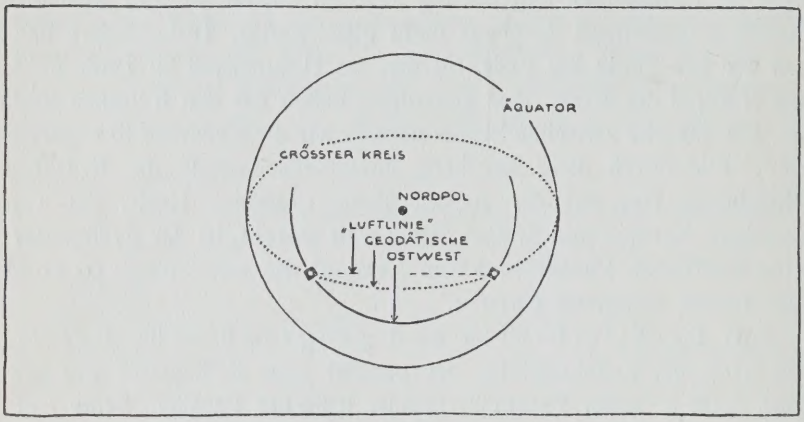


Bild 82. Zwei Standorte auf demselben Parallel. Dreierlei „kürzeste“ Verbindungslinien

(15) Meridiane und geographische Länge. Verbinden wir irdischen Nordpol und Südpol durch einen beliebigen Halbkreis, so nennen wir diesen letzteren einen irdischen Meridian. Es wird im allgemeinen der Meridian, der durch die Hauptsternwarte der größten Stadt der Welt, London, hindurchgeht, als Nullmeridian und somit als Ausgangsmeridian angesehen. Er führt nach einem Teil Londons den Namen „Greenwicher Meridian“ und schneidet den Erdäquator im Golf von Guinea westlich von der Insel San Thomé. Meridiane anderer Erdorte bezeichnen wir dadurch, daß wir am Erdäquator die Gradanzahl zwischen dem Greenwicher Meridian und dem Meridian des entsprechenden Ortes angeben. Diese Gradanzahl nennen wir die geographische Länge des betreffenden Erdortes. Sie wird von Null bis 180 Grad östlich über Mitteleuropa und von Null bis 180 Grad westlich über den Atlantischen Ozean hinaus gezählt, oder auch nur in westlicher Richtung von Null bis 360 Grad. Jedenfalls spielt der „nasse“ Punkt westlich von San Thomé als Ursprung des geographischen Koordinatensystems eine ähnliche Rolle wie der Frühlingspunkt im Rektaszensionssystem des Himmels. Freilich be-

steht der Unterschied, daß der irdische Nullpunkt durch den Erdäquator zwar von Natur aus gegeben ist, hinsichtlich der „Bevorzugung" Greenwichs aber willkürlich, d. h. eine Sache freundschaftlichen Übereinkommens ist.

(16) Zonenmeridiane. Man teilt die ganze Erdoberfläche durch Hauptmeridiane in 24 Zonen, die man aus später zu erörternden Gründen Zeitzonen nennt. Gehen wir längs des Erdäquators von dessen Nullpunkt aus immer je 15 Grad weiter um den Erdball herum, so haben wir zunächst 24 wichtige Äquatorpunkte und durch diese gehen die Hauptmeridiane durch, die zum Teil besondere Namen haben: „mitteleuropäischer Meridian" 15 Grad östlich, „osteuropäischer" 30 Grad östlich; „westeuropäischer" Meridian ist der von Greenwich. — Ebenso gibt es in Amerika den „atlantischen, Ost-, Zentral-, Gebirgs-, pazifischen und Alaskameridian". Da wir $^1/_{24}$ eines Kreises, wie z. B. des Erdäquators, „Stunden" nennen, ohne deshalb von vornherein an ein Zeitmaß denken zu müssen, werden die 24 Hauptmeridiane auch solche von 1, 2, 3 usw. Stunden östlich oder westlich von Greenwich genannt, ohne daß damit zunächst etwas über die Zeit ausgesagt werden müßte.

ZWEITER ABSCHNITT
ERDE UND HIMMEL

Himmel und Auge / Himmel und Erde / Erdkreise / Horizonte / Polhöhe und geographische Breite / Prinzip der Erdmessung / Himmel aller Breiten / Nord und Süd an den Polen / Relativität der Drehung / Ruhender und rotierender Himmel / Weltsternzeit / „Absolute" Erddrehung

(1) Himmel und Auge. Nach der Definition der Himmelskugel ist unser Auge immer die Mitte derselben. Gehe ich auf der Erdoberfläche spazieren, so erlebe ich so viele Lagen dieser meiner Himmelskugel, als es Punkte gibt, in denen sich mein Auge tatsächlich oder in Gedanken aufhalten kann. Das ist durchaus buchstäblich zu nehmen. Die astronomische Himmelskugel ist, wie wir wiederholen, tatsächlich nichts anderes, als ein gedankliches Gerät, bei dem nicht nur die Größe beliebig angenommen werden kann, sondern dessen Mitte auch in Gedanken einmal hier, einmal dort, einmal am wirklichen Beobachtungsort, einmal bei den Antipoden, einmal unten auf dem Pflaster, einmal hoch oben auf dem Kirchturm, auf einer Bergspitze, im Flugzeug oder wer weiß wie hoch über uns, gedacht werden kann und gedacht werden muß. Je mehr wir diese große Kunst verstehen, uns eine Himmelskugel für alle beliebigen Orte und Richtungen vorzustellen, je elastischer die Phantasie diesbezüglich wirkt, desto leichter wird uns das Verständnis astronomischer Dinge sein. Zu einem bestimmten Augenpunkt müssen wir mit rücksichtsloser Kühnheit die jeweilige Himmelskugel so groß oder so klein zu denken oder zu zeichnen imstande sein, als es unseren Zwecken oder schließlich der durch die gesunden Grenzen menschlicher Fähigkeiten gebotenen Bequemlichkeit am besten entspricht.

(2) Himmel und Erde. Wir dürfen nicht davor zurückschrecken, die Erde so groß wie einen Teller zu zeichnen und gleichzeitig den Himmel nur so groß wie eine Taschenuhr (Bild 83), ein andermal den Himmel als Taschenuhr und die Erde als von deren Mitte herabhängende Erbse. Es ist auch gestattet, im punktförmigen

Symbol für unser Auge die ganze Erdkugel sich konzentriert zu denken. Bei den sehr üblichen, allerdings oft nur mechanisch gezeichneten konzentrischen Kreisen (4. Figur in Bild 83) handelt es sich im

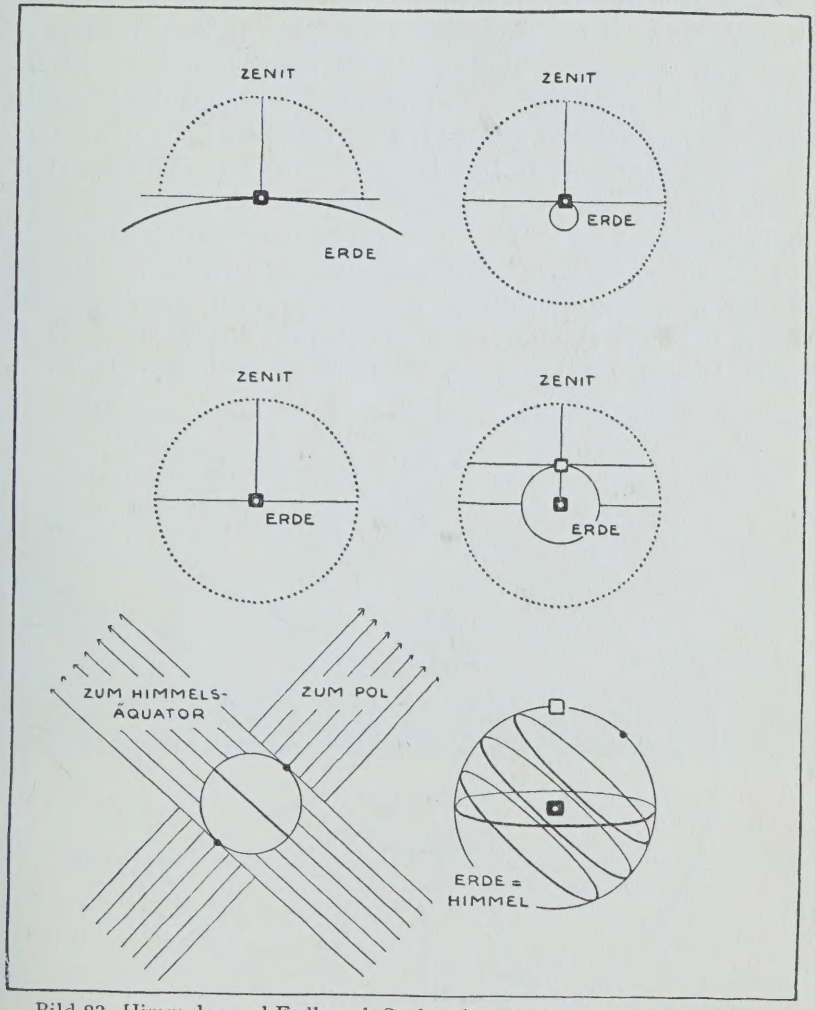


Bild 83. Himmels- und Erdkugel. Sechserlei Darstellungsmöglichkeiten

Grunde nur um den Himmel der Erdmitte. Wir müssen aber imstande sein, unser Auge im Nu auf die Erdoberfläche und wieder in die Erdmitte zurück zu verlegen. Der Horizont ist nicht in beiden Fällen ein

größter Himmelskreis, was aber in Anbetracht der relativen Kleinheit der Erde für die bloße Veranschaulichung kaum ins Gewicht fällt. Wir können auch — dem nächsten Kapitel vorgreifend — durch bloße Richtungen, durch Pfeile, andeuten, daß der Himmel auf unserem Zeichenblatt einfach nicht Platz hat. Die Figur links unten kann auch so gedeutet werden, daß die Himmelsachse zur Stange wird, so dick, wie der ganze Erdäquator groß ist, und der Himmelsäquator zur unendlichen Scheibe von der Dicke der ganzen Erdkugel. Wir dürfen endlich, unser Auge in die Erdmitte versetzend, den Himmel (Figur 6) gerade so groß wie die Erdkugel selbst zeichnen, so daß wir in diesem Fall das Paradoxon vor uns haben: Erdkugel = Himmelskugel, das übrigens nicht sonderbarer anmuten darf, als der eingangs aufgestellte Vorschlag: Erde ein Teller, Himmel nur eine Taschenuhr.

(3) Erdkreise. Zeichnen wir Himmel und Erde als gleichmittige Kugeln, dann ist es möglich, sämtliche Punkte, größte Kreise

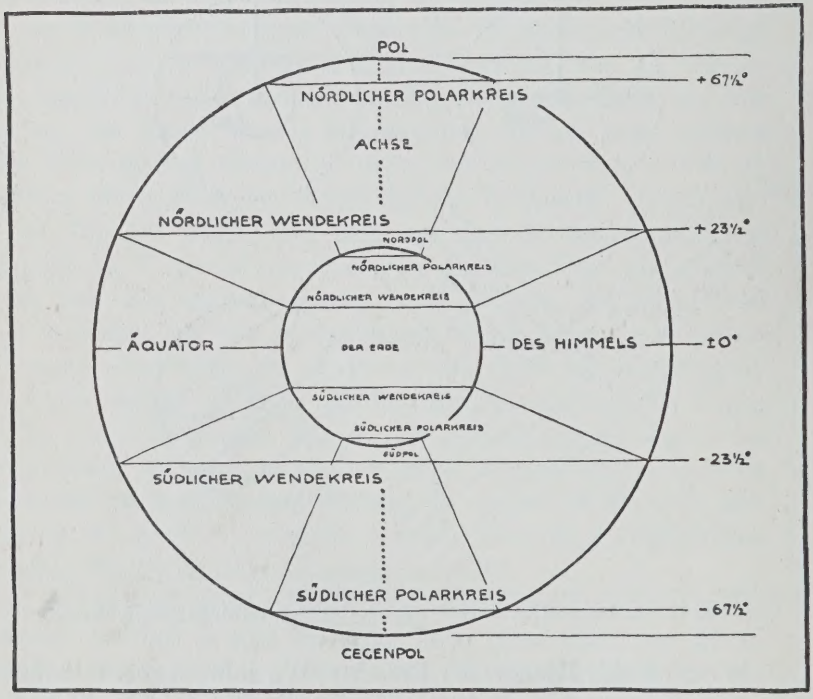


Bild 84. Punkte und Kreise auf der Erde als Projektionen von Punkten und Kreisen an der Himmelskugel der Erdmitte

Mondkarte (Prag)

Alpen- und Kaukasusgegend des Mondes (Pariser Mondatlas)

TAFEL IX

und alle Nebenkreise des Himmels auf die Erdkugel zu projizieren (Bild 84). Himmels- und Erdpole liegen auf ein- und derselben Linie. Der Himmelsäquator bildet sich als Erdäquator ab. Aus den himmlischen Wendekreisen werden irdische, aus den himmlischen Polarkreisen irdische Polarkreise, wie überhaupt jedem himmlischen Parallelkreis einer auf der Erdoberfläche, jedem himmlischen Stundenkreis irdische Halbkreise entsprechen, die wir eben Meridiane nennen. Die Benennung der irdischen Punkte, Kreise und Kreisteile bleibt ein- für allemal bestehen, auch wenn wir Erde und Himmel nicht gleichmittig darstellen. Da das Erdnetz im großen und ganzen eine Projektion des Himmelsnetzes ist, können die früher erwähnten Methoden der Himmelsdarstellung auch bei der Herstellung von geographischen Karten Anwendung finden. So wie wir jedoch im allgemeinen den Himmel von innen betrachten, so ist eine Außenansicht der Erde selbstverständlich, trotzdem eine andere nicht verboten wäre. Das Maschenwerk geographischer Karten ist gegenüber dem des Himmels mit seinen vielen Koordinatensystemen relativ einfach. Trotzdem ist den vielfältigen örtlichen Anforderungen entsprechend die Mannigfaltigkeit geographischer Karten sehr groß.

(4) Horizonte. Mit dem mitunter angewandten Ausdruck „mathematischer Horizont" ist der Horizont der Erdmitte gemeint.

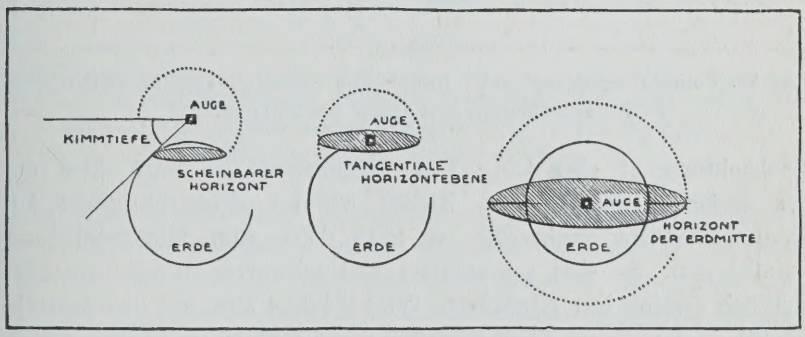


Bild 85. Horizonte. Der scheinbare ist etwas grundsätzlich anderes als der astronomische Horizont. Dieser ist tangential und als Horizont der Erdmitte gezeichnet.

Bild 85 gibt die Horizonte für einen außerhalb der Erdoberfläche, einen auf dieser und einen in unmittelbarer Nähe der Erdmitte befindlichen Beobachter wieder. Der zuletzt gezeichnete, eben der mathe-

matische Horizont, wird am besten so erfaßt, daß man das Auge für den Augenblick der Vergegenwärtigung aus der Erdmitte an die Erdoberfläche versetzt denkt. Scheinbarer Horizont heißt der Nebenkreis, in dem sich Himmel und Erdkugel für ein Auge außerhalb der Erde schneiden.

(5) Polhöhe und geographische Breite. Verlegen wir unseren Standort in die geographische Breite von 48 Grad (Bild 86), so bedeutet dies, daß in der Erdmitte der entsprechende Erdhalbmesser mit dem des Erd- oder Himmelsäquators ebenso viele Grade einschließt. Der betreffende Winkel ist schwarz. Ziehen wir von unserem

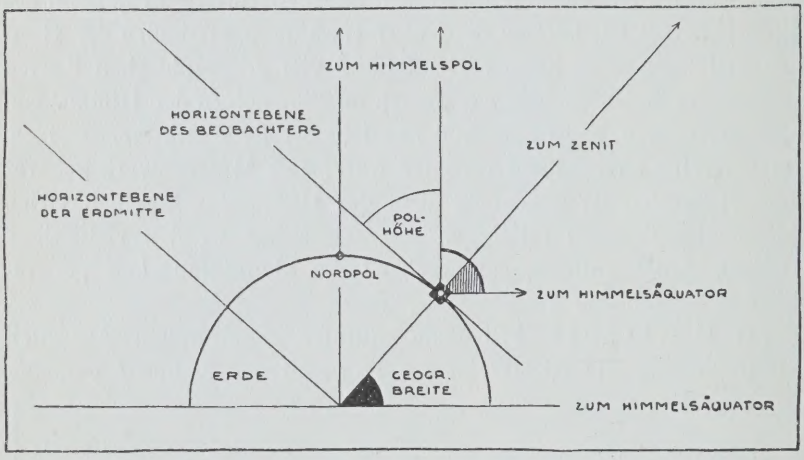


Bild 86. Polhöhe = geographische Breite. Der schwarze Winkel gleicht dem schraffierten und dieser der Polhöhe.

Beobachtungsort eine Linie zum Himmelspol, so muß diese mit der Erdachse parallel sein. Ziehen wir im Beobachtungsort auf diese Linie eine senkrechte, so muß diese zum Himmelsäquator parallel sein. So sind schraffierter und schwarzer Winkel einander sichtlich gleich. Der schraffierte Winkel bildet aber mit dem benachbarten weißen ebenso einen Rechten, wie die Polhöhe mit dem weißen Winkel. Deshalb ist die Polhöhe gleich dem schraffierten, also auch gleich dem schwarzen Winkel oder der geographischen Breite, d. h.

Polhöhe = geographische Breite.

(6) Prinzip der Erdmessung. Wir erinnern an das Kapitel der Polhöhenmessungen im vorigen Abschnitt, dessen Ergeb-

nis die Kenntnis des Erdumfanges sein sollte, und geben hier das Prinzip der Erdmessung in seiner denkbar größten Einfachheit wieder. Himmel und Erde seien gleichmittig gezeichnet (Bild 87). Zwei Beobachter befinden sich auf demselben Meridian, haben beide je einen Stern genau im Zenit und messen den Bogen zwischen diesen Sternen. Da, wie wir später sehen werden, die Sterne relativ zu den Erddimensionen unendlich weit liegen, der Himmel, an den diese Sterne gleichsam angeheftet sind, also auch relativ zur Erde als unendlich groß anzusehen ist, bleibt es gleichgültig, ob der Bogen von den Beobachtern aus oder von der Erdmitte aus gemessen wird. Man erhält also den schraffierten Winkel in der gemeinsamen Erd- und Himmelsmitte. Ebenso wird auf der Erde der Meridianteil zwischen den beiden

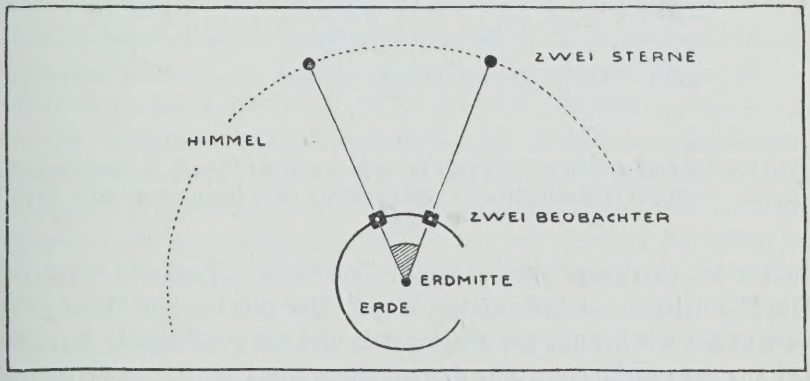


Bild 87. Prinzip der Erdmessung. Beispiel: Abstand der Beobachter voneinander = 5000 km, erdzentrischer Winkel = 1/8 des vollen Winkels. Erdumfang = 5000 km mal 8 = 40 000 km.

Stationen gemessen. Dieser betrage z. B. 5000 Kilometer und der beschriebene Himmelsbogen 45 Grad. Dann ist auch der schraffierte Winkel an der Erdmitte 45 Grad groß. Da dies ein Achtel von 360 Grad ist, so ist die Erde im Umfang achtmal größer als das gemessene Meridianstück. Der Umfang der Erde beträgt also 40 000 Kilometer. Die Zahl stimmt mit der im vorigen Abschnitt erhaltenen überein.

(7) Himmel aller Breiten. Aus dem Satz „Polhöhe = geographische Breite" folgt, daß der Erdnordpol mit der geographischen Breite 90 Grad die Polhöhe 90 Grad besitzt. Dort ist der Polarstern im Zenit. Am irdischen Äquator ist die Polhöhe Null. Hier

ist der Polarstern im Horizont. Die sieben Kugeln im Bild 88 veranschaulichen dies in ihrer ersten und vierten Figur, die übrigen geben die Stellung der Himmelsachse und des ganzen Himmels noch für die beiden Polar- und die beiden Wendekreise, endlich auch für den irdischen Südpol wieder. Für einen in der Himmelsachse stehenden Beobachter, dessen Kopf gegen den himmlischen Nordpol gerichtet ist, dreht sich der Himmel der Pfeilrichtung im Äquator entsprechend, für einen zweiten ebenfalls in der Himmelsachse stehenden Beobachter, dessen Kopf zum himmlischen Gegenpol oder Südpol weist, gehen die

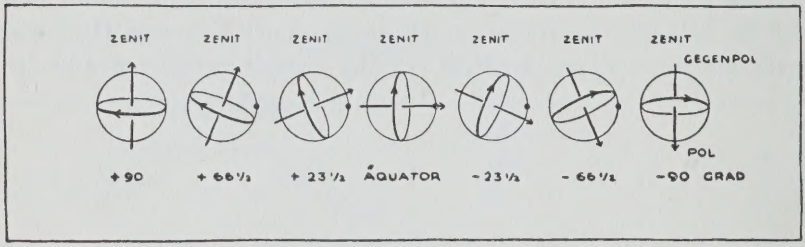


Bild 88. Stellung der Himmelskugel in sieben verschiedenen geographischen Breiten. Pfeil auf Himmelsäquator gibt Drehsinn an. Schwarzer Punkt = Nordpunkt.

Sterne alle „verkehrt", infolgedessen auch Sonne, Mond und Planeten. Die Mondphasen „stehen auf dem Kopf". Der zunehmende Mond sieht dort so aus wie bei uns der abnehmende und der abnehmende dort wie bei uns der zunehmende. Für den irdischen Äquator steigen die Sterne senkrecht auf und nieder. In der ersten und zweiten Figur liegt — wir haben ihn nicht besonders eingezeichnet — der nördliche Wendekreis ganz über dem Horizont. Unsere Sommersonne ist hier stets, auch als Mitternachtssonne zu sehen. In den beiden letzten Figuren ist entsprechend der nördliche Wendekreis und mit ihm unsere Sommersonne unsichtbar. Es ist dies nur e i n Beispiel zahlreicher anderer kleinerer Probleme, die eine Veränderung in der Stellung der Himmelsachse und der Himmelskugel mit sich bringt. — In den Skizzen ist der Himmelsäquator in seiner Perspektive so gezeichnet, als ob der Zeichner stets auf der nördlichen Seite stünde.

(8) N o r d u n d S ü d a n d e n P o l e n. In der ersten und letzten Figur sind die schwarzen Scheibchen zur Bezeichnung des Nordpunktes vorsichtigerweise weggelassen. Da der Nordpunkt durch den Höhenkreis des himmlischen Nordpoles bestimmt ist und letzterer in

der ersten Figur mit dem Zenit zusammenfällt, gibt es unzählig viele solche „durch Zenit und Pol" gehende Kreise. Es kann jeder Punkt des Horizontes als Nordpunkt aufgefaßt werden. Dementsprechend ist aber auch jeder Horizontpunkt, da er bestimmt irgend einem „Nordpunkt" gegenüberliegt, zugleich ein Südpunkt. Die Nordsüdrichtung ist an den Polen vollständig undefinierbar.

(9) Relativität der Drehung. Was wir bisher vom Himmel in seiner Beziehung zur Erdkugel sagten, gilt selbstverständlich sowohl für das ruhende, als auch für das rotierend gedachte System. In Anbetracht der Relativität aller Bewegungen können wir — besonders anschaulich bei gleichmittiger Darstellung von Erde und Himmel — die Erde als ruhend ansehen und den Himmel um die Erd- und Himmelsachse kreisen lassen. — Ich habe auf dem Tisch eine Taschenuhr ohne Deckglas — sie soll die Erde, ihr Umfang den Erdäquator darstellen. Der Stundenzeiger sei zehnmal länger als der Halbmesser des Zifferblattes. In 12 Stunden geht der Stundenzeiger um den Mittelpunkt der Uhr herum. Ich nehme nun den langen Zeiger in die Hand und halte ihn 12 Stunden lang in derselben Stellung — Verächter von bloßen Gedankenexperimenten können diesen Versuch auch tatsächlich ausführen — so dreht sich das Zifferblatt in bezug auf den Zeiger, aber der Zweck unseres Experimentes ist ebenso erreicht, wie im ersten Falle. Wir sind über den Zusammenhang zwischen Zeiger und Zifferblatt vollständig im klaren. Wir können in beiden Fällen — und das ist die Hauptsache — die Stunden ablesen. Was wir als ruhend und was wir als rotierend annehmen, ist nur eine Angelegenheit der Bequemlichkeit, der Billigkeit, der Nützlichkeit. Wir richten uns einzig und allein nach dem Zweck, den wir etwa mit irgend einer Beschreibung verfolgen. Es kann also die Erde auch relativ zum Himmel als sich drehend beschrieben werden. Sie dreht sich dann, weil die Sterne ostwestlich laufen, von West nach Ost, von Spanien nach der Türkei. — In Bildtafel XXX, unten, ist ein Modell vorhin erwähnter Art abgebildet. Die Uhr unseres Gedankenversuches hat Form und Aussehen eines kleinen Erdglobusses, in den ein Uhrwerk eingebaut ist. Halten wir diese Erde mit der Hand fest, so dreht sich die den Uhrzeiger darstellende Stange, die an ihrem freien Ende eine mit ihr starr verbundene weiße Kugel mitschleppt. Halten wir jedoch diese weiße Kugel fest, damit auch die Zeigerstange, dann dreht sich in bezug auf diese beiden die Erde — und mit ihr das Ziffer-

blatt „Äquator". — Im nächsten Abschnitt wird die weiße Kugel dieses Modells zur Sonne.

(10) Ruhender und rotierender Himmel. Zur Erd- und Himmelskugel zurückkehrend, können wir uns ein zweites Modell vorstellen, in dem zwei gleichmittige Kugeln so miteinander verbunden sind, daß sich in der Erdkugel wieder ein Uhrwerk befindet, wobei die ganze Himmelskugel bloß als besonders ausgebauter Zeiger wirkt, dessen Spitze als Ballast ein Himmelsnetz mitschleppt. Halte ich die Erde, die „Uhr" in unserem Vergleiche, fest, dann kreist der Himmel, der „Zeiger". Halte ich den himmlischen Zeiger fest, so dreht sich die irdische Uhr. Für die gegenseitige Lage der Erd- und Himmelspunkte bleiben sich beide Vorgänge vollständig gleich: in bezug auf die ruhend angenommene Erde dreht sich der Himmel, in bezug auf den ruhend angenommenen Himmel dreht sich die Erde. „Ruhender Himmel" und „rotierender Himmel" verlieren von jetzt angefangen ihre Bedeutung insoferne, als wir im ersten Teil unseres Buches den ruhenden Standpunkt als etwas selbstverständliches auffaßten, während wir von nun an immer streng das Bezugsystem angeben, d. h. immer ganz eindeutig festlegen wollen, was wir unter „ruhend" verstehen. Statt des Ausdruckes „rotierender Himmel" ist von nun an die zweite Bezeichnung Kolurhimmel oder auch „Himmel der Kolure" erst recht vorzuziehen, doch wollen wir, wenn die Eindeutigkeit der Aussage sicher nicht bedroht ist, hiefür auch nur einfach „Himmel" sagen.

(11) Weltsternzeit. Für Orte desselben Meridians kulminiert ein bestimmter Stern oder der Frühlingspunkt zur selben Zeit.

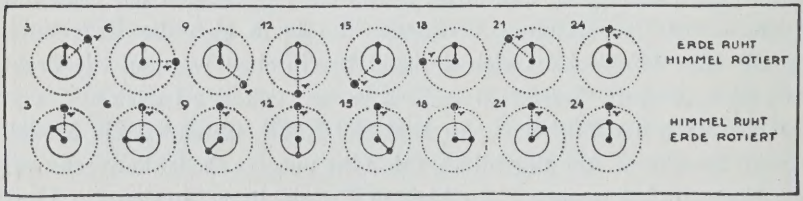


Bild 89. Sternzeit. Erde ausgezogene Kreislinie, Himmel punktiert. Widderzeichen bedeutet den Frühlingspunkt, Zahlen die Sternzeit. Sie sind identisch in oberer und unterer Reihe.

Sie haben stets gleiche Sternzeit. Für die Erde ist Weltsternzeit die Sternzeit des „für die ganze Welt" als Ausgang dienenden Green-

wicher Meridians. Die aus der Erdmitte durch den Nullpunkt im Golf von Guinea gezogene Gerade als Zeiger betrachtend, können wir entweder diesen als ruhend ansehen, dann dreht sich der Himmel mit dem Frühlingspunkt (Bild 89, obere Reihe) oder wir halten den Himmel fest, Frühlingspunkt z. B. „oben" (untere Reihe), dann dreht sich die Erde mit dem Guineanullpunkt oder mit dem Weltmeridian von Greenwich als Zeiger. In beiden Fällen ist die „Weltsternzeit" als der Winkel „Frühlingspunkt - Auge - geographischer Nullpunkt" — das Auge in der Erdmitte gedacht — gleich eindeutig bestimmt.

(12) „Absolute" Erddrehung. Bei rein formaler Beschreibung ist es gleichgültig, ob die Erde oder der Himmel sich dreht — nämlich immer relativ zum anderen System. Nun gibt es aber gut beobachtbare Tatsachen, die im Abschnitt „Erdkörper" behandelt werden, die die Behauptung einer Erddrehung als sehr natürlich, die einer Himmelsdrehung als gekünstelt erscheinen lassen. Wir können die sich hieraus ergebende Schwierigkeit, wie wir dort zeigen wollen, beheben. Eine absolute Erddrehung ist undefinierbar. Wir sind also auch weiter durchaus autonom in der Aussage, ob der eine oder der andere Gegenstand kreist.

DRITTER ABSCHNITT
ERDE UND SONNE

Weltzeit / Zonenzeiten und Meridiantabelle / Datumgrenze / „Altern" und „Verjüngtwerden" / Ortszeiten / Sonnenuhren aller geographischen Breiten

(1) W e l t z e i t. Im allgemeinen kann man all das, was wir im vorigen Abschnitt im Kapitel „Weltsternzeit" hinsichtlich der Erde und des Frühlingspunktes sagten, mit dem Unterschied wiederholen, daß wir statt Frühlingspunkt „mittlere Sonne" sagen. Dann ist der Mechanismus im Bild 90 erklärt. In der ersten Reihe ist bei jeder Einzelfigur der Greenwicher Meridian nach unten zu gerichtet. Es ist vormittag 3, 6, 9 usw. Uhr mittlere Sonnenzeit für Greenwich. Man nennt diese Zeiten Weltzeit oder Universalzeit. Es läuft die Sonne im Richtungssinn von Auf- und Untergang um die Erde. Dieselben gegenseitigen Stellungen von Sonne und Greenwicher Meridian erhält man aber auch, wenn man (zweite Reihe) die Sonne festhält

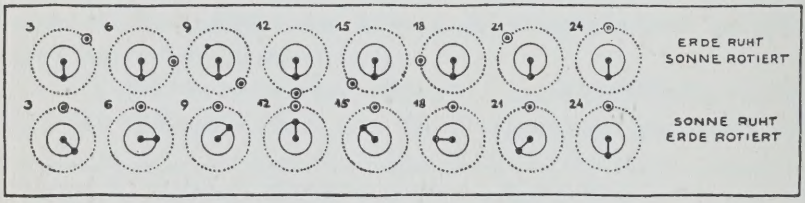


Bild 90. Mittlere Zeit. Erde ausgezogene Kreislinie. Sonnensymbol am punktierten Himmel. Mittlere Sonnenzeit identisch in oberer und unterer Reihe

und die Erde sich entgegen dem Uhrzeiger drehen läßt. — Halten wir im früher beschriebenen Modell (Bildtafel XXX, unten) die Erde fest, dann dreht sich der Zeiger und mit ihm läuft die Sonne um. Halten wir die Sonne fest, dann verharrt auch der Zeiger in Ruhe und die Erde dreht sich um ihre Achse. Die wirkliche Richtung dieser Achse, die wir hier im Modell und in den übrigen Betrachtungen dieses Abschnittes absichtlich schematisierend so legen, daß sie zur Umlaufs-

ebene der Sonne senkrecht steht, werden die folgenden Kapitel zu ermitteln haben. — Die alleinige Anwendung der Weltzeit für die ganze Erde wäre unnatürlich, man könnte den Antipoden von Greenwich kaum zumuten, mitten in der Nacht, wenn die Sonne in Greenwich kulminiert, „Mittag" zu haben und dann am „Abend" aufzustehen. Die Weltzeit wird nur im großen, zwischenstaatlichen Verkehr sowie in der Rechnung, dort aber überaus ausgiebig und vorteilhaft verwendet.

(2) Zonenzeiten und Meridiantabelle. Jeder beliebige Meridian hat sozusagen seine „private" Zeit, die „Ortszeit". Er hat Mittag 12 Uhr, wenn „seine" Sonne kulminiert. Im Augenblick des Weltmittags, also 12 Uhr Greenwicher mittlerer Zeit, hat z. B. für den Meridian, der 3 Stunden östlich von Greenwich liegt, die Sonne einen westlichen Stundenwinkel von 3 Stunden, so daß es dort 3 Uhr nachmittags mittlerer Ortszeit ist. Nun ist man aber übereingekommen, im amtlichen Verkehr die Ortszeiten im großen und ganzen abzuschaffen, diese nur den 24 Hauptmeridianen zu belassen und den Streifen der Erdoberfläche 7½ Grad westlich bis 7½ Grad östlich dieser Zonenmeridiane dieselbe Zeit zuzuschreiben, wie sie der den Streifen halbierende Haupt- oder Zonenmeridian hat. — Freilich mußten auf politische und natürliche, geographische Verhältnisse in der Zuordnung zu einer derart bestimmten „Zonenzeit" oder „Standardzeit" Rücksicht genommen werden. Jede Zonenzeit weicht um je eine Stunde gegen die benachbarte Zonenzeit derart ab, daß, wenn z. B. ein Zonenmeridian 4 Uhr nachmittag hat, der benachbarte östliche bereits 5 Uhr, der benachbarte westliche erst 3 Uhr hat. So haben Berlin und Chicago einen Zeitunterschied von 7 Stunden, so daß es, wenn Berlin Mittag hat, in Chicago erst 5 Uhr früh ist. Weil manche von Hauptmeridianen durchzogene Erdflächen nicht oder zu spärlich besiedelt sind, haben durchaus nicht alle Zonenmeridiane eine besondere Bedeutung. Wir geben trotzdem ein Verzeichnis aller 24 Zonenzeitgebiete an. Die Stundenanzahl bedeutet den Unterschied gegen den Nullmeridian oder, was auf dasselbe herauskommt, die entsprechende geographische Längendifferenz in Stunden. Zur Kennzeichnung der Gebiete geben wir die von den 24 Hauptmeridianen hauptsächlich durchzogenen Länder oder Städte und andere geographische Objekte aus der näheren oder weiteren Nachbarschaft der Hauptmeridiane an.

	Meridiane östlich von Greenwich:
0^h	Greenwich. Goldküste
1^h	Bornholm. Berlin und Wien. Sizilien
2^h	Donaumündung. Nildelta
3^h	Tiflis. Bagdad. Madagaskar
4^h	Ural. Aralsee. Ostspitze Arabiens
5^h	Balkaschsee. Stromgebiet des Indus
6^h	Golf von Bengalen
7^h	Baikalsee. Singapore
8^h	Shanghai. Philippinen
9^h	Japan. Mitte Australiens
10^h	Kurilen. Sidney
11^h	Östlich von Kamtschatka
12^h	Aleuten. Fidschiinseln

	Meridiane westlich von Greenwich:
0^h	Greenwich. Goldküste
1^h	Island. Kanarische Inseln
2^h	Azoren. Mitte des Nordatlantiks
3^h	Südspitze Grönlands. Westlich von Rio de Janeiro
4^h	Mitte Südamerikas
5^h	New York
6^h	Chicago
7^h	Denver. Mexiko
8^h	San Francisco
9^h	Westlichstes Kanada
10^h	Insel Tahiti
11^h	Alaskaspitze
12^h	Aleuten. Fidschiinseln

(3) Datumgrenze. Gehen wir vom Augenblick „Greenwicher mittlerer Mittag", also 12 Uhr Weltzeit, aus (Bild 91) und nehmen wir an, daß es Donnerstag sei, dann hat im selben Augenblick der 45 Grad östlicher liegende Meridian 3 Uhr nachmittag mittlere

Ortszeit, zugleich eben diese Zonenzeit, der 90 Grad östlich von Greenwich liegende Meridian 6 Uhr abend mittlere Ortszeit, schließlich der zu Greenwich antipodisch liegende Meridian, jenseits des Nordpols, Donnerstag abend 12 Uhr, d. h. Mitternacht von Donnerstag auf Freitag. Wandern wir von Greenwich westwärts, dann hat der Meridian 45 Grad westlich erst 9 Uhr vormittag mittlere Ortszeit, der 90 Grad westlich abstehende Meridian erst 6 Uhr früh, schließlich, wenn wir immer weiter westwärts gehen, der Greenwich gegenüber liegende Meridian erst 0 Uhr früh, d. h. Mitternacht von Mittwoch auf

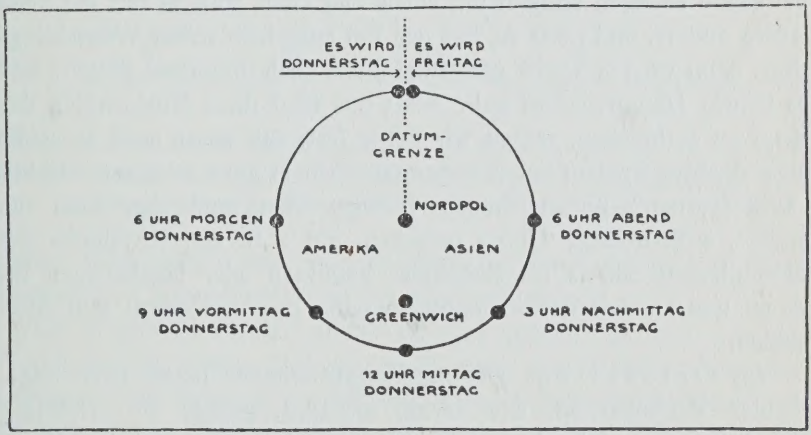


Bild 91. Datumgrenze. Ganze Scheibe stellt Erde dar, Scheibenumfang den Erdäquator.

Donnerstag. Es hat also derselbe Meridian der Gegenfüßer sowohl Mitternacht auf Freitag, wenn wir auf dem Bild im Gegensinn des Uhrzeigers herumreisen, als auch Mitternacht auf Donnerstag, wenn wir mit dem Uhrzeiger fahren. Um dieser Zwiespältigkeit zu entgehen, wird hier für Weltreisende eine sogenannte „Datumgrenze" gezogen. Beim Überschreiten in der Richtung von West nach Ost wird ein Monatstag samt dazugehörigem Wochentag doppelt genommen: Fährt man Donnerstag den 27. Juli in genannter Richtung über die Datumgrenze, dann ist der nächste Tag wieder ein Donnerstag und wieder der 27. Juli. Fährt man umgekehrt von Europa über Amerika zur Datumgrenze und ist es z. B. ein Donnerstag und 14. September, dann ist nach Überschreiten der Datumgrenze der nächste Tag nicht Freitag, sondern Sonnabend der 16. September.

Man muß also einen Tag überspringen, früher „altern". Auf der ersten Reise gewinnt, auf der zweiten verliert man einen Tag.

(4) „Altern" und „Verjüngtwerden". In Bild 92 sind jeweils der Nordpol der Erde und ein Stück Erdachse besonders hervorgehoben. Läuft jemand im Gegensinn des Uhrzeigers um den Pol, dann wird er um soviel Tage „jünger", als er um den Pol herumläuft. Er muß sehr auf der Hut sein, nicht am Ende noch als Ungeborener weiter zu laufen. Läuft er in anderer Richtung um den Pol, wird er „älter und älter". Sucht er den Weg in der dritten Figur, so wird er bei einem einzigen Umlauf um einen Tag älter, läuft er nur ein klein wenig anders, und zwar so, daß der Pol außerhalb seiner Wegschlinge liegt, dann wird er weder unnormal älter, noch unnormal jünger, weil es keinen Datumwechsel gab. Statt uns über diese Kuriositäten den Kopf zu zerbrechen, stellen wir lieber fest, daß unser noch so schön ausgedachtes System der Zonenzeiten eben in ganz seltenen, wirklich „ausgefallenen" Fällen einfach versagt. Man muß sich dann um andere, außerirdische Uhren umsehen und z. B. den Rhythmus des Mondphasenwechsels als Zeitzähler benützen oder hinabsteigen ins Atom und an dessen Schwingungen seine Zeit und damit sein Alter zählen.

(5) Ortszeiten. Die 24 Hauptmeridiane haben nach allgemeiner Vereinbarung, wie vorhin erwähnt, gerade die „richtige" Zeit bekommen, d. h. eine solche, bei deren Mittag die mittlere Sonne tatsächlich kulminiert. Selbstredend könnte jeder Erdort für sich seine eigene Ortszeit beanspruchen, wie es früher üblich war und zum Teil noch hie und da besteht. Im großen Verkehr bietet dieses Vielerlei freilich lauter Hindernisse. Will man jedoch auf irgend einem beliebigen Meridian seine Uhr nach der Sonne prüfen, dann tut man gut, zunächst in mittlerer Ortssonnenzeit zu rechnen und dann erst die Zonenzeit in Betracht zu ziehen. Die anschaulichsten Zeitprüfer sind die Sonnenuhren, die unmittelbar mittlere Ortszeit geben, wenn die entsprechende Zeitgleichung als Korrektur an der Ablesung angebracht wird. Sonnenuhren, deren Zifferblatt so gezeichnet ist, daß sie unmittelbar die Zonenzeit geben, sind eine Seltenheit. Man kann in diesen Fällen, um nicht zweierlei Korrekturen anzubringen, die Zeitgleichung und außerdem den Unterschied „Zonenzeit minus mittlere Ortszeit", beides für jeden Tag zusammengesetzt, als eine Art praktisch korrigierte Zeitgleichung benützen, um die von der Sonnenuhr gegebene

wahre Zeit gleich in die gewünschte Zonenzeit zu verwandeln. — Will man es abends statt etwa bis 9 Uhr noch bis 10 Uhr hell haben, muß man, weil sich die Natur nicht „verbessern" läßt, diese Stunde einfach umbenennen. Man sagt statt 9 Uhr 10, statt 10 Uhr 11 usw. oder ein-

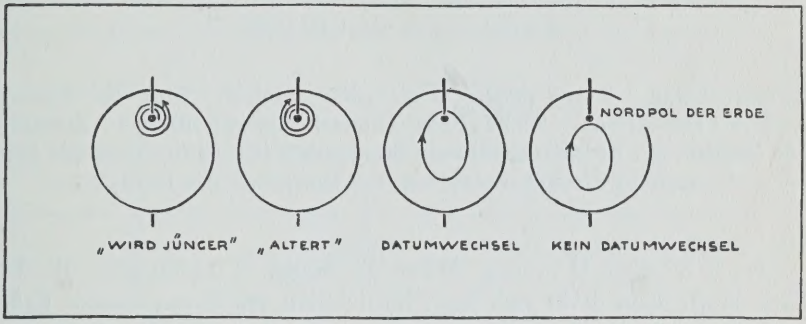


Bild 92. Kuriosa zum Kapitel „Datumgrenze". Kurven, mit Pfeilspitzen versehen, bedeuten Reisewege. Datumgrenze hinter dem Nordpol

facher, man richtet alle Stundenzeiger um eine Stunde vor. Das System der „Sommerzeit" verfolgt diesen Kunstgriff.

(6) Sonnenuhren aller geographischen Breiten. Wir haben im ersten Teil in den Skizzen dem Schattenstab einer Sonnenuhr die Neigung von 48 Grad gegeben, entsprechend der bloß als Beispiel angeführten Polhöhe von ebensoviel Grad. Orte eines und desselben Parallelkreises haben, da sie gleiche Polhöhen besitzen, auch gleich konstruierte Sonnenuhren. Für verschiedene andere Polhöhen muß der Schattenstab ebenfalls zum Pol weisen. Am irdischen Nordpol ist so z. B. jedes Lot eine Sonnenuhr, am Äquator jede horizontale, von Süd nach Nord weisende Stange. Auf der Südhalbkugel weisen die die Himmelsachse verkörpernden Stäbe auch zum gleichen Pol wie auf der Nordhalbkugel, doch wird die Prüfung auf die Richtigkeit ihrer Lage nach dem Gegenpol erfolgen.

VIERTER ABSCHNITT
ERDE UND EKLIPTIK

Ewiger Mittag / Sonne pendelt / Erdachse pendelt / Erde um Sonne / Andere Perspektiven / Sonne - Erde - Himmel / Jahresschraube / Sterntag und Sonnentag / Erdumlaufszahlen / Sternparallaxen / Entfernung der Fixsterne / Gedankenexperiment / Aberration des Lichts

(1) Ewiger Mittag. Wenn die Sonne in 24 Stunden um die Erde läuft, dann dreht sich auch hinsichtlich der Sonne unsere Erde täglich einmal um ihre Achse. Wir wollen aber im Augenblick des Weltmittags, wenn die Ebene des Greenwicher Meridians in der Richtung zur Sonne liegt, diese tägliche Erddrehung plötzlich ausgeschaltet denken (Bild 93). Es ist und bleibt dann für den Nullmeridian ewiger Mittag, für den Meridian der Greenwicher Gegenfüßer ewige Mitternacht. Wenn dann nach wie vor die Sonne im Verlauf der Jahreszeiten allmonatlich ein neues Tierkreisbild einnimmt, so schieben sich die Tierkreisbilder von links nach rechts hinter der Sonne der Reihe nach dahin. Man könnte diesen Wechsel, die Sonne abgeblendet gedacht, von ganz Europa aus z. B. sehr schön verfolgen „wie im Kino" bei einem Trickfilm. Wir hätten einen idealen Sonnenkalender vor uns. Und auf der anderen Seite der Erde würde man ebenfalls sehen, wie ununterbrochen ebenfalls 12 Tierkreisbilder im Verlaufe eines Jahres durch den Himmelsmeridian in ewiger Mitternacht wandern — ein Sternkalender — alles in rückläufigem Sinn, da die Sonne relativ zu den Sternen rechtläufig ist. Die Sterne würden im Verlaufe eines Jahres einmal auf- und untergehen im selben Richtungssinn, wie wir ihn normalerweise beim Auf- und Untergang der Sterne verzeichnen. Nur die Sonne bliebe, für den Nullmeridian, wenn auch nicht auf demselben Fleck, so doch sicher in derselben Vertikalebene, im Himmelsmeridian. Dabei wollen wir einstweilen von den Unregelmäßigkeiten absehen, die die Zeitgleichung bedeuten.

(2) Sonne pendelt. Beim ewigen Mittag würde die Sonne im Himmelsmeridian bleiben, dabei jedoch im Verlaufe der Jahres-

zeiten höher und tiefer steigen (Bild 93). Vom geographischen Nullpunkt im Golf von Guinea aus betrachtet, wäre die ewige Mittagssonne im ‹Frühling› im Zenit, zugleich im Himmelsäquator, sie würde sich dann weiterbewegen, wäre im ‹Sommer› 23½ Grad nördlich vom Zenit, zugleich im nördlichen himmlischen Wendekreis, im

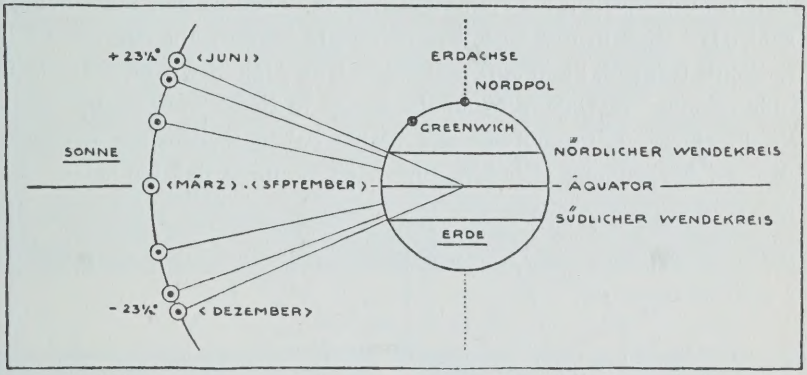


Bild 93. Modell Erde-Sonne. Ewiger Mittag für Greenwich. Sonne pendelt erdzentrisch. Vier Zwischenlagen sind Sonnenstationen in den einzelnen Zwischenmonaten.

‹Herbst› wieder im Zenit und Himmelsäquator, im ‹Winter› 23½ Grad südlich vom Zenit, zugleich im südlichen Wendekreis und schließlich nach einem weiteren Vierteljahr wieder im Zenit und im Himmelsäquator. Im Verlaufe eines Jahres pendelt die Sonne auf diese Art hinauf und hinab. In den äußersten Lagen scheint sie senkrecht auf diejenigen Punkte des irdischen Nullmeridians, die in den Wendekreisen liegen. Von Jahreszeiten innerhalb der irdischen Wendekreise ist eigentlich im Sinne etwa unserer europäischen Auffassung kaum zu sprechen. Im irdischen Äquator ist die Zeit der Nachtgleichen die heißeste, denn dann steht die Sonne im Zenit. ‹Sommer› und ‹Winter› unterscheiden sich nur dadurch, daß die Sonne einmal nördlich, dann wieder südlich bis auf bloße 23½ Grad vom Zenit abweicht. Der nördliche irdische Wendekreis hat während unserer warmen Jahreszeit, der südliche während unserer kalten Jahreszeit die Sonne im Zenit. Südlich des südlichen Wendekreises endlich haben überhaupt alle Erdpunkte dann warme Jahreszeit, wenn es bei uns Winter ist und kalte, wenn wir Sommer haben. Wenn man will, kann man dies auch so ausdrücken, daß dann, wenn die eine

irdische Halbkugel Sommer hat, die andere Winter hat, und umgekehrt. Doch darf dies nicht zu Mißverständnissen führen.

(3) Erdachse pendelt. Stellen wir uns zur Vergegenwärtigung des eben beschriebenen Vorganges der Sonnenpendelung ein mechanisches Modell vor. Die Erdkugel hat im Nullmeridian einen vom nördlichen bis zum südlichen Wendekreis gehenden Schlitz (Bild 94). Eine in der Erdmitte befestigte Stange, am äußeren Ende die Sonne tragend, kann auf- und abpendeln. Halten wir aber das freie Ende „Sonne" fest, dann bleibt die Sonne in Ruhe und es muß, wenn wir dieselben „Jahreszeiten" wie vorhin haben wollen, die Erdachse hin- und herpendeln, sich hin- und herwiegen, so daß einmal — der

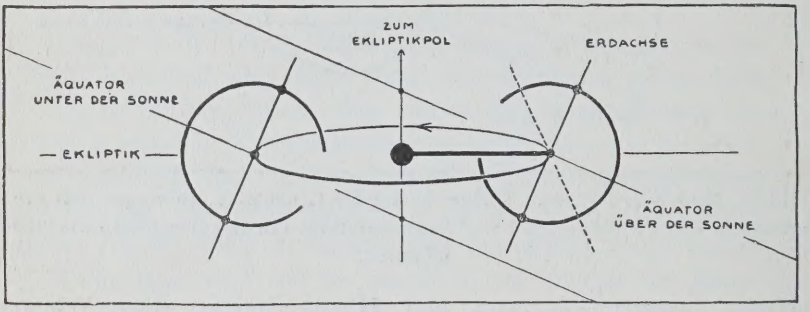
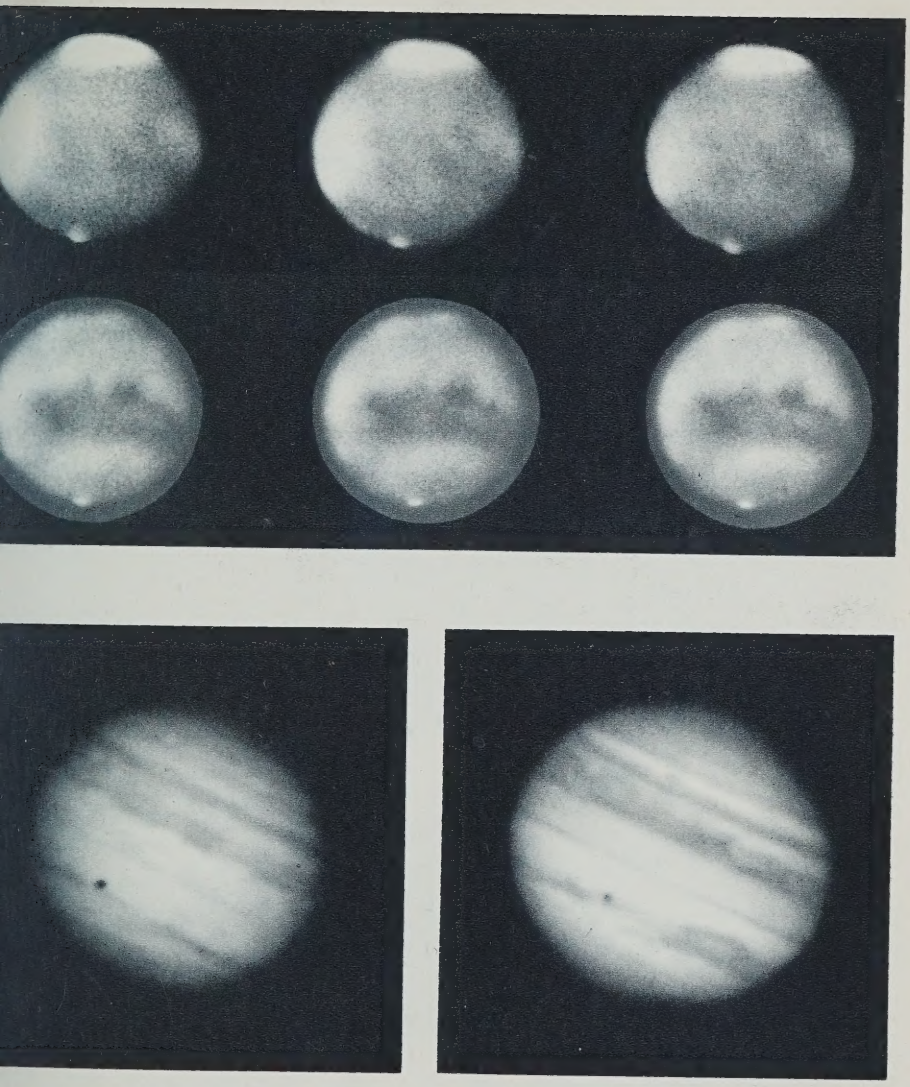


Bild 94. Erdmodell mit Schlitz im Nullmeridian und pendelnder Stange. An deren Ende die Sonne. Ewiger Mittag für Greenwich

gestrichelten Linie entsprechend — der Nordpol, ein anderes Mal der Südpol von der Sonne beschienen wird. Wir würden sagen, daß einmal der eine, ein anderes Mal der andere Pol seinen Sommer hat, oder daß das nordpolnahe Europa einmal Sommer, einmal Winter hat, während gleichzeitig unsere südpolnahen Gegenfüßer in unserem Sommer kalte, in unserem Winter warme Jahreszeit haben.

(4) Erde um Sonne. Wir lassen immer noch die Erddrehung relativ zur Sonne ausgeschaltet — es ist Weltmittag (Bild 94) — halten aber die Erdachse in unserem Modell während der Winterstellung zunächt fest — Erde rechts im Bild — und wollen genau darauf achten, daß sie diese ihre nun vorhandene Richtung im Raum nicht ändert. Nun versuchen wir, die Stange gleichsam als Zeiger in stets waagrechter Ebene hintenherum im Halbkreis in der Pfeilrichtung von der rechten auf die linke Seite der Sonne zu bringen. Der Zeiger setzt uns keinerlei mechanischen Widerstand entgegen, da



Oben: Mars. Blau- und Gelbaufnahme (Lowellsternwarte)
Unten: Jupiter. Ultrarot- und Violettaufnahme (Licksternwarte)

Zwölf Saturnaufnahmen (Mount Wilsonsternwarte)

TAFEL XI

er im Schlitz des Modells hinaufgleiten kann. — In der neuen Stellung — Erde links — hat dann die Sonne relativ zur Erdachse und relativ zu Greenwich genau dieselbe Lage, wie in dem Falle der Achsenpendelung vorher. Die jährliche relative Pendelung bleibt

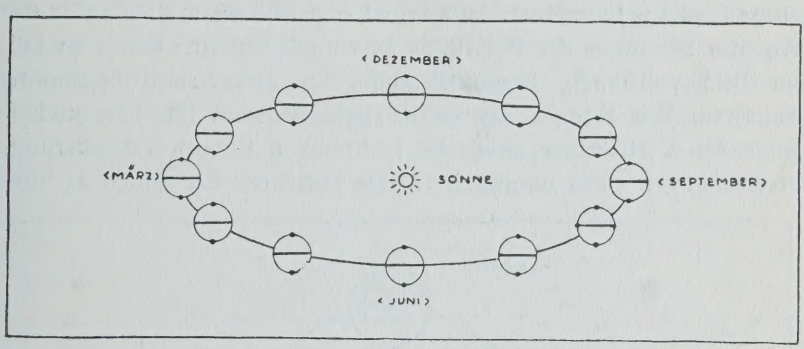


Bild 95. Kreisförmige Erdbahn, erscheint vom unendlich weiten Schützen aus gesehen als Ellipse. Erdstationen in den einzelnen Monaten

bei diesem Mechanismus vollkommen unverändert erhalten. — Wir bekommen schließlich das übliche Bild mit der schrägen Erdachse, natürlich nur als eine unter vielen anderen richtigen Darstellungsmöglichkeiten. Wir haben es durch eine ganze Reihe von sprunglos aufeinander folgenden Gedankenvorstellungen gewonnen und wir dürfen schließlich nur nicht vergessen, bei diesen jahreszeitlichen Handhabungen unseres Modells die tägliche Drehung unserer Erde wieder ordnungsgemäß einzuschalten und mit dem „ewigen Mittag" Schluß zu machen. Dann läuft die Erde mit der schräg gestellten Achse in der Ekliptikebene um die Sonne, hat ihre Jahreszeiten, und dreht sich gleichzeitig ununterbrochen um ihre eigene Achse und schafft Tag und Nacht.

(5) Andere Perspektiven. Es steht nichts im Wege, auch dies endgültige Bild des Systems Sonne-Erde umzugestalten, bzw. in anderer Perspektive zu sehen. Drehen wir die Ekliptikebene um 23½ Grad, dann kann die Erdachse lotrecht sein. Der Äquator wird parallel „zum Boden" (Bild 95). Blicken wir in der Ebene des Himmelsäquators in der Richtung vom unendlich weiten Achtzehnuhrzum unendlich weiten Sechsuhrpunkt, dann ist die Erde im ‹Winter› oben, die Sonne, von ihr aus gesehen, unter dem zum Himmelsäquator erweiterten Erdäquator. Im ‹Sommer› ist die Erde „unten", von ihr

aus erscheint die Sonne oben, über dem Himmelsäquator im Sommerpunkt. In dieser Projektion — bei stets lotrechter Erdachse — wird die Kreisbahn der Erde zur Ellipse verzeichnet. Wird endlich das Modell (Bild 94) aus dem Ekliptikpol, oder noch besser vom Außenekliptikpol aus betrachtet, dann ergibt sich Bild 96, in dem außer dem Äquator besonders der Polarkreis hervorgehoben ist. Dieser ist links im Bild vollständig besonnt, rechts im geometrisch bestimmten Schatten. Wir betonen das geometrische Moment für diese und die folgenden Verhältnisse, weil die Lufthülle mit ihren Dämmerungserscheinungen vieles umgestaltet. Der Polarkreis hat einmal 24 Stun-

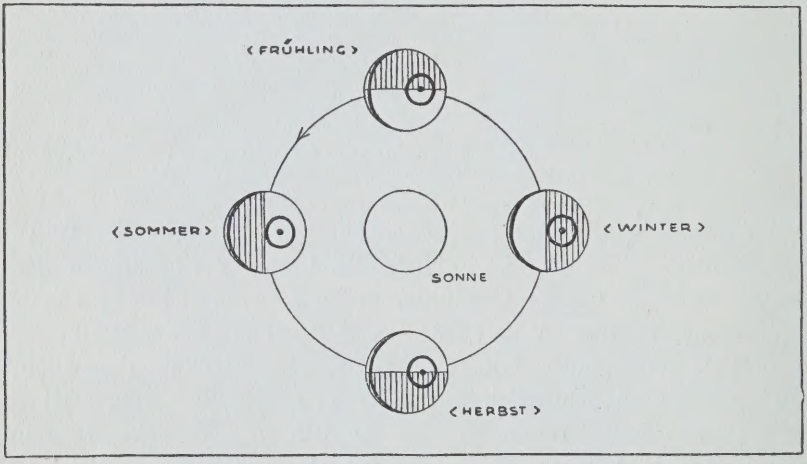


Bild 96. Erde-Sonne vom Ekliptikpol aus gesehen. Nordpol, Nordpolarkreis und Erdäquator hervorgehoben. Tag und Nacht in den einzelnen Jahreszeiten

den „Hell" und das andere Mal 24 Stunden „Dunkelheit". Der Nordpol bleibt am linken Umfang der Erdbahn besonnt, rechts ein halbes Jahr im Schatten. Im ‹Frühling› und ‹Herbst› werden alle Parallelkreise, also auch Erdäquator und Polarkreis, der Tag- und Nachtgleiche entsprechend, halbiert. Da der irdische Äquator durch die Schattengrenze jahraus jahrein in gleiche Hälften geteilt ist, haben dessen Punkte stets Tag- und Nachtgleiche. Je weiter ein Erdort vom Äquator entfernt ist, desto mehr zeigt sich ein jahreszeitlicher Unterschied in den Tageslängen, bis er eben an den Polen äußerste Werte erreicht. In den „Erdtafeln" (S. 245) finden wir für verschiedene Breiten deren längste „helle Tage". Dort sind auch die irdischen

Parallelkreise zu finden, für die der helle Tag 1, 2, 3 Monate usw. dauert.

(6) Sonne-Erde-Himmel. Unser Modell setzen wir in einen „besonders großen" Himmel hinein (Bild 97). Er soll jedenfalls so mächtig sein, daß von jedem Punkt der Erdbahn aus Linien zu irgend einem Punkt, z. B. zum Pol des Himmels als parallel angesehen werden müssen. Die durch den Ekliptikkreis der Himmelskugel bestimmte Ekliptikebene ist waagrecht gestellt, der Ekliptikpol ist oben,

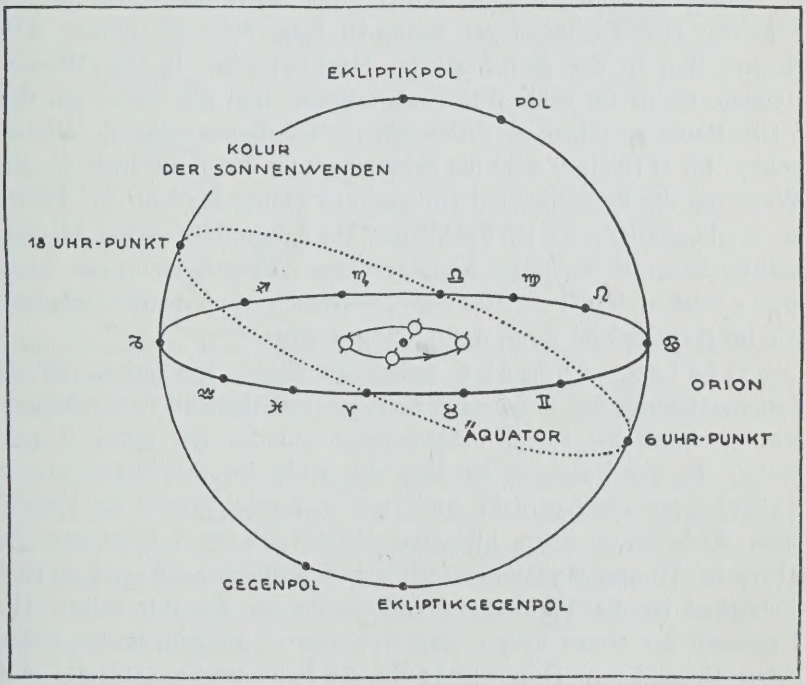


Bild 97. „Endbild". Himmelskugel um Erde-Sonne. Ekliptik mit den 12 Zeichenanfängen waagrecht. Himmelsäquator schief, parallel zum Erdäquator

der Himmelsäquator infolgedessen geneigt, sein Pol rechts vom Ekliptikpol. An diesem Bild — am besten wieder als mechanisches Modell gedacht — läßt sich ebenfalls eine „ganze Astronomie" studieren. Wir wollen nur ein Beispiel geben. Wir betrachten bei der Sommerstellung der Erde, links im Bild, Europa als Punkt, von der Sonne abgewendet, also um Mitternacht. Man sieht im Süden, d. h. in

Opposition zur Mitternachtssonne die Sternbilder um den 18 Uhr-Punkt des Äquators herum, z. B. den Schlangenträger (Bild 52). Die Ekliptik liegt unter dem Äquator, symmetrisch von Ost nach West laufend, in ihr sind der Schütze und die hellen Massen der Milchstraße zu sehen. Nun dreht sich die Erde. An einer Stelle, uns zugekehrt, erreichen wir die Schattengrenze zwischen dunkel und hell. Es wird Morgen, die Sonne wird sichtbar, wir sagen „sie geht auf". Zu Mittag aber ist der Meridian des Erdortes in der Ebene des Kolurs der Sonnenwenden. Ein lotrechter Stab wirft nur einen kurzen Schatten. Der Tagbogen der Sonne ist lang, denn der Erdort läuft längere Zeit in der Sonne als im Nachtschatten. In der Winterstellung, rechts im Bild, Wintermitternacht, sind die Sterne um den 6 Uhr-Punkt zu sehen, die Oriongegend. Die Sonne steht im Winterpunkt. Im ⟨Frühling⟩ geht die Schattengrenze durch die Erdpole, alle Wege um die Erdachse sind zur genauen Hälfte besonnt, zur Hälfte im Nachtschatten. Es ist Frühlings-, ein halbes Jahr später Herbstnachtgleiche, die Sonne im Äquator. Das Wandern der Sonne durch die 12 Zeichen des Tierkreises wird „gesehen", wenn man in Gedanken wie im Karussell im Kreis um die Sonne fährt.

(7) Jahresschraube. Gehen wir wieder, wie vorhin, von der Sommerstellung der Erde aus. Soundso viel tägliche Erddrehungen erzeugen zunächst für den Sonnenlauf soundso viel ganze Tageskreise. In der Folgezeit ist aber die Erde für die Sonne in der Ekliptikebene weitergerückt, und zwar in Lagen, für die die Verbindung Erde-Sonne einen kleineren Winkel als 23½ Grad mit der Ebene des Himmelsäquators einschließt. Schließlich nach etwa 90 Erddrehungen ist die Verbindung Erde-Sonne im Äquator selbst. Die Tagbogen der Sonne haben, ohne Sprünge zu machen, immer geringeren Abstand vom Himmelsäquator, die Spur des Sonnenlaufes muß zur Spirale werden. Dies eine „räumliche" Betrachtung als Ergänzung zur bloß sphärischen im ersten Teil.

(8) Sterntag und Sonnentag. Wir zeichnen die um die Sonne laufende Erde in zwei Stellungen, heute und morgen, in Bild 98 für den 15. und 16. Oktober, entsprechend dem früheren Bild 30, das sphärischer Betrachtung galt. Der Einfachheit wegen ist für den 15. Oktober Spika genau hinter die Sonne gestellt, so daß zu Mittag beide gleichzeitig kulminieren. Für den nächsten Tag ist die Verbindung Erde-Sonne in veränderter Richtung zu zeichnen, während

die Richtungen zur „unendlich weiten" Spika nach wie vor einander parallel sind. Während der Meridian unseres Erdortes nur 23 Stunden 56 Minuten benötigt, um aus einer Kulminationsstellung hinsichtlich der Spika bis zur nächsten zu kommen, muß er mitsamt unserem Standort sich noch um einen Winkel von 1 Grad weiter drehen, bis er die Sonne wieder in Mittagsstellung hat. Hiezu benötigt die Erd-

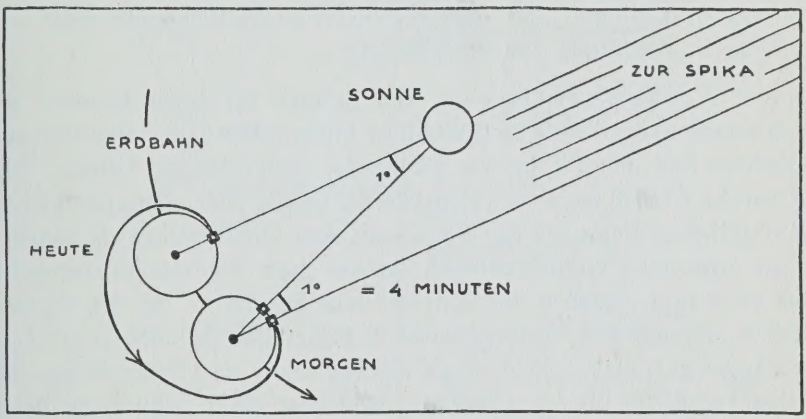


Bild 98. Sterntag und mittlerer Tag. Sonne und Spika „räumlich". In Bild 30 „sphärisch". C-förmige Kurve ist keine Bahn, nur Wegweiser im Schema.

drehung aber etwa 4 Zeitminuten. Der Sterntag — Spika bis Spika — ist also um 4 Minuten kürzer als der 24stündige Sonnentag oder gewöhnliche „Tag", alles in Übereinstimmung mit dem früher im ersten Teil bloß sphärisch Beschriebenen. — Der Einfachheit wegen ist im Bild 98 die Erdachse senkrecht zur Erdbahn gestellt, die Zeichnung also stark schematisiert.

(9) Erdumlaufszahlen. Wenn die Erde im Kreis um die

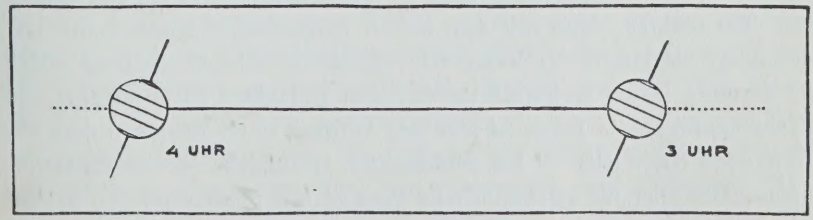


Bild 99. Stundenweg der Erde in ihrer Bahn um die Sonne, maßstäblich gezeichnet

Sonne läuft, so läßt sich aus dessen Halbmesser, 150 Millionen Kilometern, nach unserer Kreis- und Kugeltafel (S. 127) der Umfang berechnen. Weitere Zahlen erhält man dann durch Division:

Weg in 1 Jahr = 940 Millionen Kilometer
Weg in 1 Tag = 2½ Millionen Kilometer
Weg in 1 Stunde = 108 000 Kilometer = 8½ Erddurchmesser
Weg in 1 Minute = 1800 Kilometer = $^1/_7$ Erddurchmesser
Weg in 1 Sekunde = 30 Kilometer.

(10) Sternparallaxen. Wir dringen für einen Moment zu den Sternen vor, die die 88 Sternbilder bilden. Die hellen Planeten erscheinen uns ohne Rohr als glänzende, punktförmige Gebilde. Im Fernrohr werden sie aber „vergrößert", so wie eine glänzende kleine punktförmige Perle auf der Bühne mit dem Operngucker als Scheibchen erscheint. Trigonometrisch konnte man Planetenentfernungen bis etwa zum 50fachen der Sonnendistanz ermitteln. Bei den eigentlichen Sternen, den Fixsternen, ist es bisher keinem noch so großen Fernrohr gelungen, Scheiben als direkte Bilder des Sternkörpers zu sehen oder zu photographieren. Will man ihre schließlich doch irgendwie ausdrückbare Entfernung erhalten, so kann hiezu folgende Überlegung dienen: Wir denken uns einen Himmel, dessen Halbmesser — sagen wir — duodezillionenmal größer ist als die Entfernung bis zur Sonne. Die Zahl ist meines Wissens noch nie erwähnt worden. Sie wird mit 73 Stellen geschrieben. An diesem Himmel, wenn er nur gehörige Marken hat, müßten Sterne nach Bild 97 dadurch, daß wir einmal links, einmal rechts von der Sonne sind, Verschiebungen des Sternortes zeigen. Man nennt diese Verschiebungen allgemein Sternparallaxen (Bild 100). Sie müßten sich so erkennen lassen, wie sich die Projektion meines Zeigefingers, vor mich hingehalten, an der Wand mir gegenüber verschiebt, wenn ich ihn einmal mit dem rechten, dann mit dem linken Auge fixiere. Man nennt insbesondere die Hälfte der Verschiebung, die ein bei Beibehaltung seiner Entfernung in die Ekliptikachse versetzt gedachter Stern erfährt, die „Jahresparallaxe". Diese ist also der Winkel, unter dem von dem betreffenden Stern aus — bei senkrechter Draufsicht — der Erdbahnhalbmesser oder die astronomische Einheit mit ihren rund 150 Millionen Kilometern erscheint. — Man nennt Parallaxen auch noch andere Winkel, nämlich: 1) tägliche Parallaxe der Sonne den 8,8 Bogen-

sekunden betragenden Winkel, unter dem für die Sonne der Erdhalbmesser erscheint; 2) tägliche Parallaxe des Mondes den Winkel von 57 Bogenminuten, unter dem vom Mond aus der Erdhalbmesser sich zeigen würde; 3) Äquatorialhorizontalparallaxe der Sonne und des

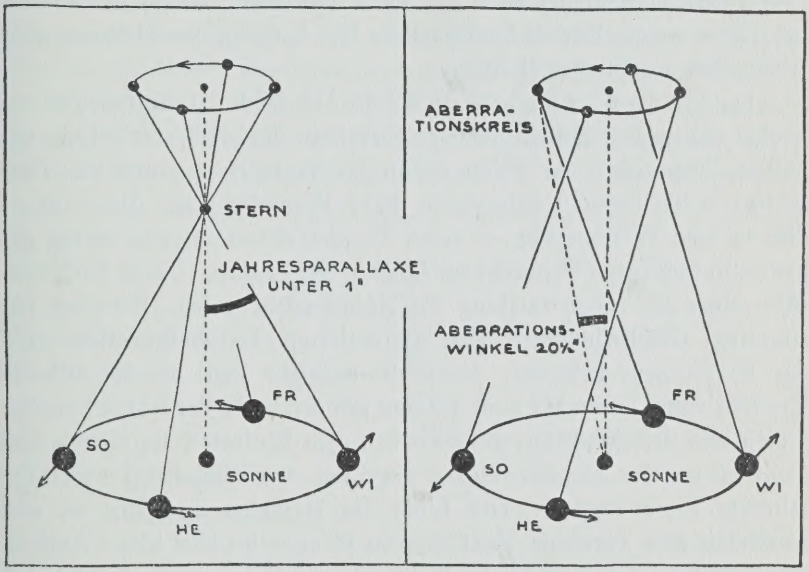


Bild 100. Links Jahresparallaxe eines Sternes, rechts Aberration. Ganz verschiedene Winkelbeträge. Verdrehung des oberen Kreises gegen die Erdbahn: links 180, rechts 90 Grad

Mondes sind insbesondere die Winkel, unter denen von Sonne und Mond aus der Äquatorhalbmesser der Erde erscheinen würde. Von den zahlreichen Methoden, die eine Bestimmung der Sonnenparallaxe ermöglichen, ist eine vielgenannte im Kapitel „Durchgangsparallaxe" (S. 272) näher beschrieben.

(11) Entfernung der Fixsterne. Selbst bei den nächsten Sternen ist diese Jahresparallaxe noch kleiner als 1 Bogensekunde. Ein schmales etwa gleichschenkeliges Dreieck, bei dem der kleine Winkel 1 Bogensekunde ausmacht, ist nach unserer Arcustafel über 200 000mal länger als breit. Es sind also alle Sterne mehr als 200 000 astronomische Einheiten, also viele Dutzende von Billionen Kilometern weit. Die Entfernung der weitesten Sterne schreiben wir zwar beileibe noch nicht mit 73 Stellen, sie sind viel näher, geben aber

immerhin einen guten, scharf markierten Hintergrund ab, auf dem sich eben die relativ „nahen" Sterne verschieben und so eine Jahresparallaxe zeigen. Jedenfalls kann die tatsächlich erfolgte Feststellung solcher Parallaxenbeträge als ein Beweis dafür angesehen werden, daß es mit dem Umlauf der Erde um die Sonne seine richtige Bewandtnis hat. Ein zweiter Beweis hiefür ist die Erscheinung der Abirrung oder Aberration des Fixsternlichtes.

(12) Gedankenexperiment. In Bild 101 dürfen uns zunächst die großen Zahlen nicht erschrecken. Es stellt eine schräg gehaltene Pappröhre dar. Von einem Dachvorsprung fallen bei Tauwetter in bestimmten Intervallen dicke Wassertropfen. Man soll — dies sei eine Wettaufgabe — einen Tropfen derart in stets schräg gehaltenem bewegten Papprohr auffangen, daß er durch dieses hindurchfällt, ohne die Innenwandung der Röhre zu benetzen. Bei einer bestimmten Geschwindigkeit des interessierten Tausendkünstlers muß das Experiment gelingen. Jedenfalls muß die Zeit, die der fallende Tropfen vom oberen bis zum unteren offenen Ende der Röhre braucht, gleich sein der Zeitdauer, die zwischen dem Eintreten des oberen und dann des unteren Röhrenendes in die durch den fallenden Tropfen bestimmte Linie vergeht. Die Linie des fallenden Tropfens ist nun zweifellos eine Vertikale. Sitzt aber im Rohr selbst eine kluge Ameise, dann sieht sie den Tropfen in der Achse der Röhre kommen und verlegt den Ursprung des Tropfens in die Richtung der Röhrenachse, verschiebt also diesen Ursprung nach der Richtung, in die unser Tausendkünstler läuft. Das kluge Tier erlebt eine „Täuschung", eine scheinbare Abirrung oder „Aberration" des Regentropfens.

(13) Aberration des Lichts. Nun verwandeln wir in Gedanken das Papierrohr in ein astronomisches Fernrohr, den Tropfen in einen Lichtimpuls, eine Lichtwelle, die kluge Ameise in den beobachtenden Astronomen, den Tausendkünstler in die Erde, die den Astronomen durch den Äther trägt. — Äther nennen wir das Etwas, in dem sich Lichtstrahlen oder Lichtwellen fortpflanzen. Es ist zunächt nur ein Name. Wenn sich jemand aus irgend einem Grund, vielleicht, weil er etwas diesbezügliches gelesen hat, darüber Sorgen macht, was der Äther ist und ob es ihn überhaupt gibt oder nicht gibt, dem empfehlen wir, ihn als reines Gedankending anzusehen — als Fiktion. Es wäre dies nicht die einzige, die uns im Leben dauernd begegnet, ohne irgendwie außer Schaden auch Nutzen zu stiften. —

Kommt das Sternenlicht in Wirklichkeit „von oben", von einem Stern etwa in der Ekliptikachse, dann erscheint, da der Astronom die Richtung des kommenden Lichtstrahles in die Richtung verlegt, nach der er auf der Erde fährt, der Stern nicht an seinem wirklichen Ort, sondern in der erwähnten Richtung verschoben und diese Verschiebung zeigt jahreszeitlichen Wechsel. Aus sehr genauen Messungen wurde bei Sternen ein Aberrationswinkel von 20½ Bogensekunden bestimmt. In einer Sekunde eilt die Erde und auf ihr der Astronom 30 Kilometer im Äther dahin. — Denken wir uns — jetzt kommen die großen Zahlen an die Reihe — ein derart langes Rohr, daß im Sinne unseres Bildes

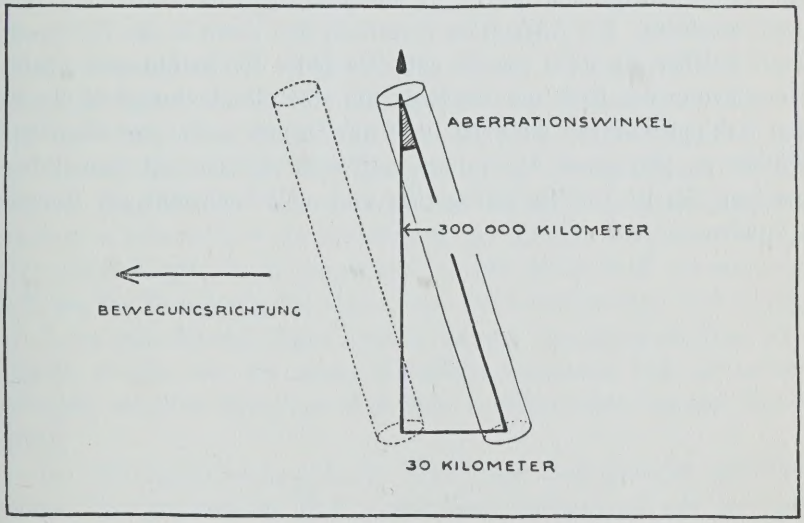


Bild 101. Aberration des Lichts. Regentropfen und Pappröhre. Die Zahlenangaben beziehen sich auf ein phantastisches Gedankenexperiment.

die beiden Enden 300 000 Kilometer von einander abstehen, dann wäre bei Beibehaltung der 30 Kilometer für die Grundlinie des kräftig ausgezogenen Dreieckes der Winkel, den das Rohr mit der Vertikalen bildet, gerade 20½ Bogensekunden groß, so groß wie der sogenannte Aberrationswinkel. Dies aber würde besagen, daß das Licht genau in derselben Zeit, in der sich der Astronom die 30 Kilometer weiter bewegt, d. h. in einer Sekunde, 300 000 Kilometer zurücklegt. Es wäre damit die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmt. Ist der Stern nicht „oben" wie in Bild 100, also nicht im Ekliptikpol, sondern „seitlich",

dann verwandelt sich der durch die Aberration vorgetäuschte Kreis in eine Aberrationsellipse, die umso flacher wird, je näher der Stern der Ekliptik ist. In der Ekliptik selbst pendelt das Bild des Sternes längs dieser auf einer etwa 41 Bogensekunden langen Strecke im Verlaufe eines Jahres hin und her. — In Bild 100 haben wir mit guter Absicht zwei ganz verschiedene Dinge nebeneinander gestellt, links die schematische Veranschaulichung der Jahresparallaxe, rechts die der Aberration. Man beachte vor allem zweierlei, den großen Unterschied der Winkelbeträge, und dann die Tatsache, daß bei der Parallaxe das „Spiegelbild" der jeweiligen Erdstellung um 180, bei der Aberration um 90 Grad gegen die unten angegebene Erdstellung verdreht erscheint. Die Aberration verschiebt den Stern in der Richtung, nach welcher die Erde jeweils eilt. Da jeder Beobachtungsort beim Umschwung der Erde um die Erdachse eine Geschwindigkeit bis zu 464 Sekundenmetern aufweist, muß im Grunde außer der eben geschilderten jährlichen Aberration auch eine tägliche sich bemerkbar machen. Sie ist freilich sehr gering und mißt höchstens 0,3 Bogensekunden.

FÜNFTER ABSCHNITT
ERDBAHN

Kreisbahn / Sonnenpulsation / Ellipse / Leitstrahlen / Exzentrizität und Krümmung / Wahre und exzentrische Anomalie / Ellipse als Bahn / Geschwindigkeiten / Milliardstelmodell / Wahre und mittlere Erde / Parabolische und hyperbolische Bahn / Lampenexperiment

(1) Kreisbahn. Wir nahmen bisher die Kreislinie für die Wege der Sonne um die Erde oder der Erde um die Sonne an. Es war die Einsetzung dieser einfachsten Figur eine natürliche Folgerung aus der Art der beobachteten Bewegungen an der Himmelskugel. Nicht nur der Begriff der Himmelskugel als solcher war unumgänglich, sondern es leistete auch die Einführung von Kreisen als Bahnlinien an eben dieser Kugel überall die besten Dienste, selbst dort, wo wir, wie z. B. bei der Tagesbahn der Sonne, von vornherein wußten, daß es sich um keine geschlossene Figur handeln könne. Im gegenwärtigen Abschnitt werden wir die ideale Kreisfigur verlassen und zu anderweitigen, mitunter allerdings noch sehr kreisähnlichen Formen übergehen.

(2) Sonnenpulsation. Wenn die Sonnenkugel wirklich jahraus, jahrein von der Erde gleich weit abstünde, so wie es einer Kreisbahn entspräche, müßte der Winkeldurchmesser ihrer Scheibe wohl stets denselben Wert zeigen. Dies ist aber nicht der Fall. Die Sonnenscheibe pulsiert, hat etwa am 1. Januar ein Maximum, etwa am 1. Juli ein Minimum. Die Annahme eines wirklichen Atmens, sich Aufblähens und Zusammenschrumpfens gerade im Verlaufe eines Erdenjahres kann als höchst unwahrscheinlich ausgeschlossen werden. Wir werden auch später keinerlei Anzeichen für eine jährliche Veränderung der Sonne finden. Die Vermutung ist vielmehr durchaus gerechtfertigt, daß die Sonnenentfernung veränderlich und das Zu- und Abnehmen des Winkeldurchmessers eine rein perspektivische Angelegenheit ist, daß die Sonne der Erde oder die Erde der Sonne im Januar relativ nahe ist, während im Juli die gegenseitige

Entfernung relativ größer ist. Die beobachteten Winkelwerte entsprechen am besten einer Ellipse als Erdbahn, wenn man sich die Sonne in einen ihrer Brennpunkte versetzt denkt.

(3) Ellipse. Wir entwerfen eine Ellipse nach Art des Gärtners, der ein länglichrundes Blumenbeet schafft (Bild 102). Ein auf das Reißbrett gespanntes Papier stellt die Ebene der Ellipse dar. Wir legen durch die Mitte der werdenden Ellipse ein rechtwinkeliges Achsenkreuz. Links und rechts werden in gleichen Abständen von der Mitte „Brennpunkte" bezeichnet. Die Strecke Ellipsenmitte-Brennpunkt heißt lineare Exzentrizität. In die Brennpunkte stecken wir Reißnägel und legen um diese eine geschlossene Zwirnschlinge. Wir sorgen dafür, daß diese immer gespannt ist und führen nun unseren Stift zwangsweise um die beiden Brennpunkte einmal ganz herum. — Die auf diese Weise entstehende Ellipse schneidet das gezeichnete Achsenkreuz viermal, rechts und links in den Hauptscheiteln, deren Abstand voneinander die große Achse, so wie oben und unten in den Nebenscheiteln, deren gegenseitiger Abstand die kleine Achse heißt. Durchmesser heißt jede durch die Ellipsenmitte gehende Strecke von Ellipsenpunkt zu Ellipsenpunkt. Der größte Durchmesser ist die große, der kleinste die kleine Achse. Die Hälfte der großen Achse heißt auch „mittlere Entfernung" der Ellipsenpunkte von der Ellipsenmitte. Als Hauptkreis gilt der aus der Mitte durch die beiden Hauptscheitel geführte Kreis. Parameter der Ellipse ist das Stück auf einer in einem Brennpunkt zur großen Achse senkrecht errichteten Linie vom Brennpunkt bis zur elliptischen Linie.

(4) Leitstrahlen. Die vom Zwirnfaden jeweils belegten Stücke Brennpunkt-Ellipsenpunkt heißen Vektoren, Brennstrahlen oder Leitstrahlen. Jeder Ellipsenpunkt hat zwei solche zu ihm gehörige Leitstrahlen, deren Längensumme immer dieselbe bleibt, da die Fadenlänge während der Konstruktion unveränderlich war und das Stück, um das der eine Leitstrahl beim Weiterbewegen des Stiftes kürzer wurde, sich automatisch zum anderen Leitstrahl dazuschlug. Die Größe dieser Leitstrahlensumme läßt sich bestimmen, wobei es nach dem eben Gesagten gleichgültig ist, für welchen Ellipsenpunkt wir die Betrachtung anstellen. Wir wählen den rechten Hauptscheitel. Die zu ihm gehörigen Leitstrahlen sind erstens das Stück vom linken Brennpunkt bis zum rechten Hauptscheitel, zweitens vom rechten Brennpunkt bis zum selben Scheitel. Legen wir diesen zweiten Leit-

strahl in Gedanken zwischen linken Hauptscheitel und linken Brennpunkt, dann füllen beide in Betracht gezogene Leitstrahlen die ganze Längs- oder Hauptachse aus. Es folgt hieraus, zugleich als Erweiterung des vorigen Satzes: Die Summe der beiden Leitstrahlen ist für jeden Ellipsenpunkt unveränderlich, und zwar gleich der großen Achse der Ellipse. — Zu einem beliebigen Ellipsenpunkt werden Tangente und Normale gezogen, indem man die zu diesem Punkt gehörigen Leitstrahlen über den Ellipsenpunkt hinaus verlängert und die Hal-

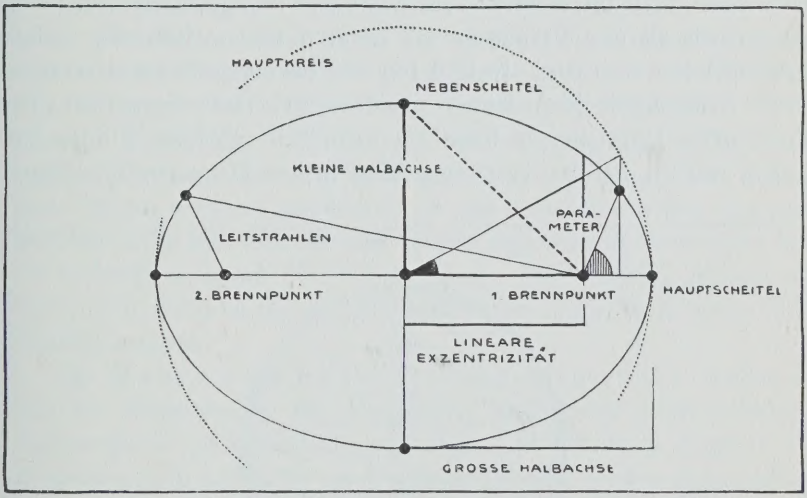


Bild 102. Ellipse und deren Elemente. Wahre Anomalie schraffiert, zu ihr gehörige exzentrische Anomalie schwarz

bierenden oder Symmetralen zu den so entstehenden vier Winkeln zieht.

(5) Exzentrizität und Krümmung. Numerische Exzentrizität oder Formzahl einer Ellipse ist die Verhältniszahl „lineare Exzentrizität dividiert durch halbe große Achse". In Bild 102 ist vom obern Scheitel zum rechten Brennpunkt ein kräftig gestrichelter Leitstrahl gezogen. Stellen wir uns symmetrisch zu ihm den zweiten Leitstrahl vom obern Scheitel bis zum linken Brennpunkt gezogen vor, dann müssen nach dem vorhin aufgestellten Ellipsensatz beide zusammengenommen ihren Längen nach die große Achse ergeben. Die kräftig gestrichelte Strecke ist also gleich der halben großen Achse oder „mittleren Entfernung". Im kräftig hervorgehobenen recht-

winkeligen Dreieck der Zeichnung ist also die numerische Exzentrizität oder Formzahl als das Verhältnis „liegende durch gestrichelte Seite“ zu deuten. Je kleiner dies Verhältnis ist, oder je kleiner der Dreieckswinkel am Nebenscheitel, der sogenannte Exzentrizitätswinkel ist, um so „dicker“, d. h. um so kreisähnlicher ist die Ellipse. Der Kreis selbst kann als Grenzfall einer Ellipse aufgefaßt werden. Er hat dann die Formzahl Null, weil bei ihm die beiden Brennpunkte in einem „Doppelpunkt“ zusammenfallen, die lineare Exzentrizität samt dem Exzentrizitätswinkel verschwindet, infolgedessen auch die numerische als das Verhältnis der linearen Exzentrizität zur halben großen Achse Null wird. In Bild 103 sind für einige Ellipsen verschiedener Schlankheit deren numerische Exzentrizitäten angegeben. Der horizontale Durchmesser kann als unendlich schlanke Ellipse aufgefaßt werden, bei der die Brennpunkte in den Hauptscheiteln liegen,

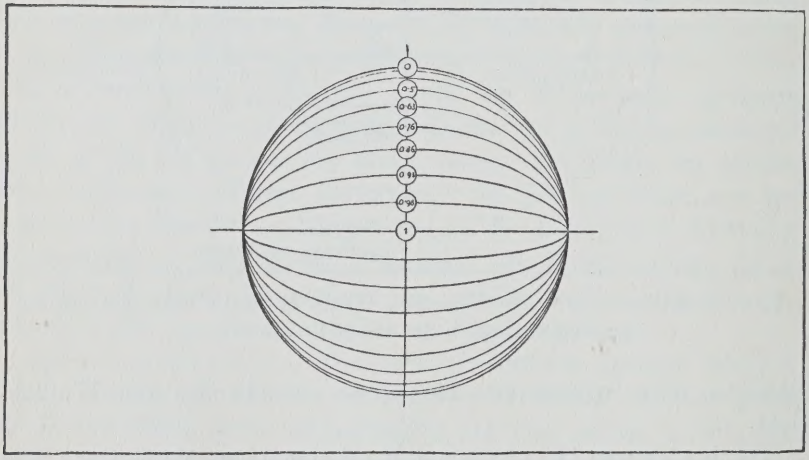


Bild 103. Ellipsen verschiedener numerischer Exzentrizität. Sie ist beim Kreis Null.

anders gesagt, diesen unendlich nahe sind. Da hier lineare Exzentrizität und halbe große Achse einander gleich sind, ist die numerische Exzentrizität gleich Eins. — Man müßte sich den erzeugenden Zwirnfaden etwa um den rechten Hauptscheitel wie um einen regelrechten Brennpunkt geführt denken und das mikroskopisch kleine Stück in der Gegend des Hauptscheitels bei riesenhafter Vergrößerung, wenn alles bis ins kleinste geometrisch richtig wäre, als Parabel erkennen.

Wir sagen deshalb, daß eine Parabel als Ellipse mit der numerischen Exzentrizität Eins angesehen werden kann oder als scheitelnaher Teil einer Ellipse, deren zweiter Brennpunkt als unendlich weit bei unserer, im Endlichen sich bewegenden Betrachtung nicht in Erwägung gezogen wird. — Mit einem gewöhnlichen Zirkel kann keine Ellipse gezeichnet werden. Es ist aber möglich, Kreise zu finden, die sich kleineren Ellipsenstücken verhältnismäßig gut anschmiegen, so daß man aus der Größe dieser Kreise oder deren Halbmessern auf den Grad der Ellipsenkrümmung in den einzelnen Punkten der Ellipse schließen kann. Ein kleiner solcher Kreis kennzeichnet eine starke, ein großer eine schwache Krümmung. Die Ellipse ist nach unseren Skizzen in den Hauptscheiteln relativ stark, in den Nebenscheiteln relativ schwach gekrümmt. — Von einer Geraden sagen wir, daß ihr Krümmungshalbmesser unendlich groß oder ihre Krümmung Null sei. Es kann freilich niemand garantieren, ob sich nicht eine noch so gewissenhaft als solche sich offenbarende Gerade irgendwo in ihrem nicht kontrollierbaren weiteren Verlauf krümmt. Der Begriff „Krümmung Null" kann sich also nur auf ein beobachtetes Stück irgend einer Wirklichkeit beziehen.

(6) Wahre und exzentrische Anomalie. Ziehen wir um die Ellipsenmitte den Hauptkreis und durch einen beliebigen Ellipsenpunkt ein Lot auf die große Achse, so daß dieses in seiner Verlängerung auch den Kreis auf derselben Seite der großen Achse schneidet, so heißt der Winkel Hauptscheitel - Brennpunkt - Ellipsenpunkt die wahre Anomalie, der Winkel Hauptscheitel - Ellipsenmitte - Kreispunkt die exzentrische Anomalie des Ellipsenpunktes. Die beiden Winkel unterscheiden sich um so weniger voneinander, je kreisähnlicher die Ellipse ist. In Bild 102 ist der schraffierte Winkel die wahre, der schwarze die exzentrische Anomalie des Ellipsenpunktes, der oberhalb des rechten Hauptscheitels besonders hervorgehoben ist.

(7) Ellipse als Bahn. Wir ersetzen (Bild 104) im Netz der Ekliptik die Kreisbahn der Erde durch eine Ellipse, wobei wir in den Zeichnungen die Abweichung von der Kreisbahn absichtlich stark übertreiben. In Wirklichkeit beträgt an den Nebenscheiteln die Abweichung der Bahnellipse vom Hauptkreis nur $^1/_{15\,000}$ des Durchmessers. Der kürzeste Leitstrahl muß zu dem Punkt weisen, wo die Entfernung Erde - Sonne am kleinsten ist. Diesen Bahnpunkt — von der Erde etwa am 1. Januar eingenommen — nennen

wir Perihel, d. h. Sonnennähe. Er hat die Ekliptiklänge 100 Grad, also 10 Grad mehr als der Sommerpunkt. Der sonnenfernste Bahnpunkt, die Sonnenferne oder das Aphel, liegt dem Perihel gegenüber. Perihel und Aphel sind so die beiden Hauptscheitel der Bahnellipse. Sie heißen auch die Apsiden und die durch sie gehende Gerade die Apsidenlinie, die Strecke Perihel - Aphel die Apsidenlinie im

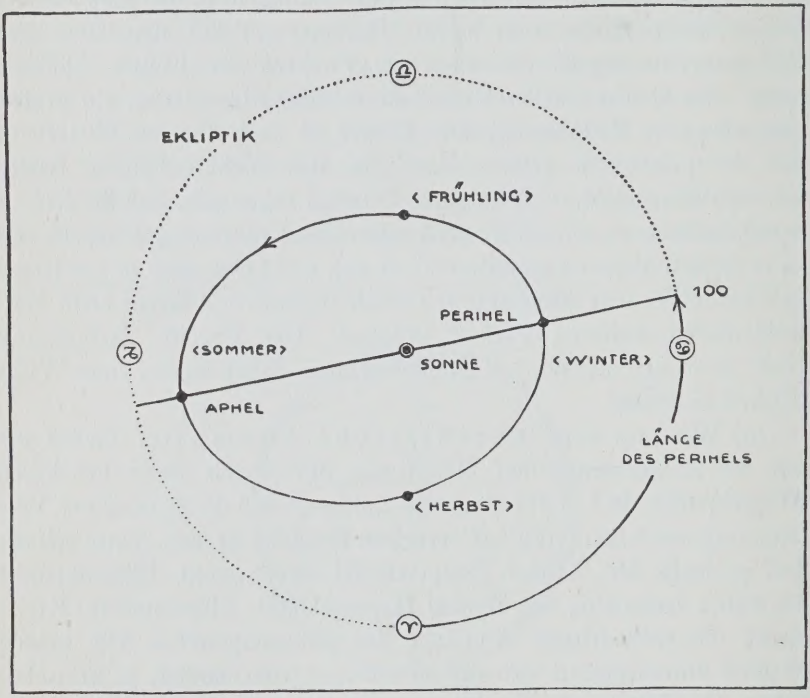


Bild 104. Erdbahnellipse, übertrieben exzentrisch, in der Ekliptik verankert. Erdbahnhälfte der „warmen" Jahreszeit ist länger als die der „kalten".

engeren Sinn. Sie mißt rund 300, genauer 299, die halbe große Achse der Ellipse 149½, die lineare Exzentrizität 2½ Millionen Kilometer, so daß die Erde im Perihel 147, im Aphel 152 Millionen Kilometer von der Sonne absteht. Die beiden Zahlen verhalten sich annähernd wie 24 : 25. Die numerische Exzentrizität der Erdbahn, d. h. die lineare dividiert durch die halbe große Achse oder 2½ dividiert durch 149½, beträgt $^1/_{60}$. Die Erdorte für den Beginn der vier Jahreszeiten sind in die Zeichnung eingetragen. Man sieht, was wir schon früher

anderweitig erfahren hatten, daß das „kalte" Halbjahr ⟨Herbst⟩ bis ⟨Frühling⟩ kürzer ist als das „warme".

(8) Geschwindigkeiten. Erdenken wir uns statt unserer Erde ein Objekt, das wie die Erde in einer Ellipse um die Sonne läuft, dessen Bahn jedoch, willkommenerer Kontraste wegen, bedeutend gestreckter sein soll als die Erdbahn, dann kann uns dies die Art der Geschwindigkeitsänderungen zeigen, die ein elliptisch um die Sonne laufender Körper allgemein aufweist. Wir kommen so zu den Umlaufsgesetzen, die auch für die Erde gelten. In Bild 105 sollen uns

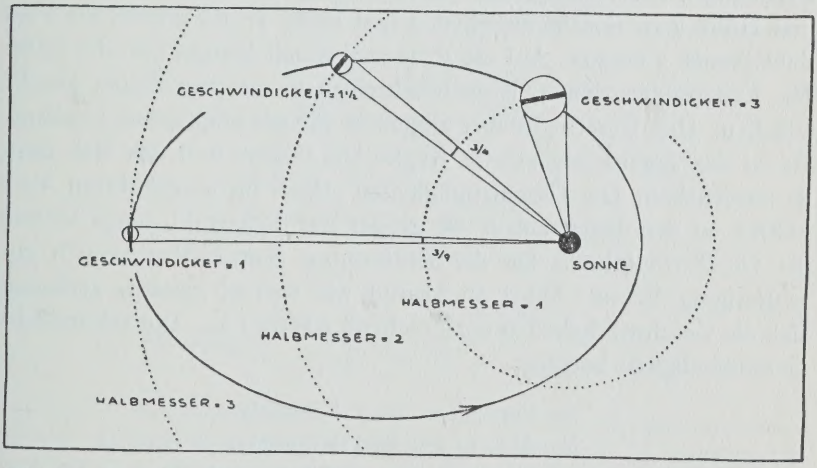


Bild 105. Erdachter Körper läuft um die Sonne. Je größer die Sonnenentfernung, desto kleiner die Geschwindigkeit. Diese durch kräftige Striche angedeutet. Drei weiße Kreise nur Hilfsfiguren. Körper in deren Mitte zu denken. Winkelgeschwindigkeiten sind 3/1, 3/4, 3/9.

drei Stellen der elliptischen Bahn interessieren, nämlich die Mittelpunkte der drei verschieden großen Kreise, welch letztere nur Hilfsfiguren, also nicht ein umlaufendes Objekt darstellen. Die Entfernungen dieser drei Bahnpunkte vom rechten Brennpunkt betragen eine, zwei und drei beliebige Einheiten. Es lassen sich auf Grund von Beobachtungen an elliptisch umlaufenden Himmelskörpern Gesetze der Art nachweisen, daß, wenn die Geschwindigkeit des fernsten Punktes unserer Skizze 1 ist, die des mittleren 1½, die des sonnennächsten 3 beträgt. Wir haben diese, in die kleinen Hilfskreise gefaßten Geschwindigkeiten als Wegstücke aus der eigentlichen Bahnrichtung in

die zu den Sonnenstrahlen senkrechte Lage gebracht. Bei der Drehung ändern sich die von den kleinen Bahnstücken und den dazugehörigen Leitstrahlen eingeschlossenen Dreiecke hinsichtlich ihres Flächeninhaltes wegen der Schmalheit der Figuren nur unendlich wenig, besonders bei kreisähnlichen Ellipsen. Die drei neuentstandenen schlanken Dreiecke, die je eine Geschwindigkeit und zwei Sonnenstrahlen zu Seiten haben, sind nun alle einander flächengleich, da der geometrische Elementarsatz vom Dreieck „doppelte Fläche = Grundlinie mal Höhe" keinen Widerspruch zeigt. Tatsächlich ist in unserer Zeichnung: Geschwindigkeit 1 mal Höhe 3 = Geschwindigkeit 1½ mal Höhe 2 = Geschwindigkeit 3 mal Höhe 1. Es kommt als Produkt immer 3 heraus. Auf die Erde angewandt besteht also der Satz: Die Leitstrahlen Sonne - Erde beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächen. Dies Gesetz gilt aber allgemein für alle elliptischen Umläufe. Es ist das sogenannte zweite Keplersche Gesetz und läßt sich auch so ausdrücken: Die Geschwindigkeiten stehen im umgekehrten Verhältnis zu den Leitstrahlen. Je größer der Leitstrahl, umso kleiner die Geschwindigkeit. Da die Entfernung Sonne - Perihel sich zur Entfernung Sonne - Aphel annähernd wie 24 : 25 verhält, verhalten sich die Geschwindigkeiten entsprechend wie 25 : 24. Die sekundliche Geschwindigkeit beträgt:

im Perihel = 30,3 Kilometer
im Aphel = 29,3 Kilometer
im Mittel = 29,8 Kilometer.

Die letzte Zahl entspricht den 30 Kilometern, die wir nach dem früheren als Abrundung beibehalten. — Unter Winkelgeschwindigkeit eines umlaufenden Körpers versteht man allgemein entweder den in der Zeiteinheit vollzogenen Winkel, vom umlaufenen Brennpunkt aus betrachtet oder die Länge des Bogenstückes auf dem Einheitskreis, das sich in der Zeiteinheit mit dem wirklichen Weg, wieder vom Brennpunkt aus gesehen, deckt. Im Bild 105 sind die entsprechenden Winkelgeschwindigkeiten, wie man mit dem Zirkel nachprüfen oder geometrisch direkt überlegen kann, $^3/_9$, $^3/_4$ und $^3/_1$. Die Winkelgeschwindigkeiten verhalten sich also wie $^1/_9 : ^1/_4 : ^1/_1$, also wie die Kehrwerte der Quadrate der Entfernungen vom Brennpunkt, in dem die umlaufene Masse ruht.

(9) Milliardstelmodell. Im Maßstab 1 : 1 000 000 000 ist

die Sonne eine Kugel von 1,39 Metern querdurch. Um sie kreist in rund 150 Metern Entfernung das Modell der Erde, eine Haselnuß von 13 Millimetern Durchmesser. Für die elliptische Bahn ergibt sich folgendes: Wir legen die Mitte der Erdbahn irgendwie fest und stellen 2½ Meter von ihr die wagenradgroße Sonne auf, was der linearen Exzentrizität der Erdbahn entspricht. Durch den Mittelpunkt der Ellipse und die Sonnenmitte ziehen wir die Apsidenlinie und tragen vom Mittelpunkt nach beiden Seiten 149½ Meter auf. So ergeben sich als kleinster Sonnenabstand der Erde 147, als größter 152 Meter.

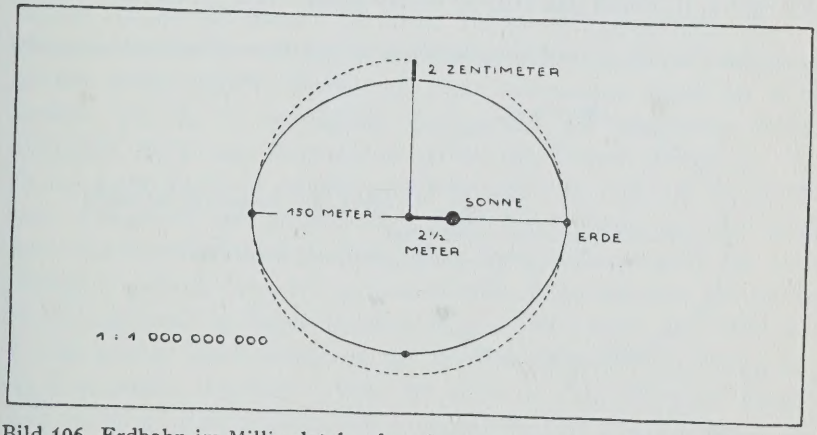


Bild 106. Erdbahn im Milliardstel- oder planetaren Maßstab. Lineare Exzentrizität (2½ m) relativ groß, Abweichung von der Kreisbahn (2 cm) äußerst gering

Ziehen wir nun die Ellipse und ihren Hauptkreis, dann ist die größte Abweichung der beiden Krummlinien voneinander nur 2 Zentimeter. Eine Ellipse von 300 Metern Durchmesser, deren Umfangslinie bestenfalls nur 2 Zentimeter vom idealen Kreis abweicht, nicht gegebenenfalls einen Kreis heißen zu wollen, ist unverzeihliche Hartnäckigkeit. Es darf also auch später gelegentlich erlaubt sein, von einer rechtverstandenen „Kreisbahn" der Erde zu sprechen. Statt die Kreisnatur der Erdbahn von vornherein wegleugnen zu wollen, ist es vielleicht ratsamer, die allerdings sehr ausschlaggebende Tatsache im Auge zu behalten, daß die umlaufene Sonne nicht in der Mitte der Figur, sondern deutlich „exzentrisch" steht. Während beim Kreis jede Tangente auf dem zu ihr gehörigen Leitstrahl, d. h. in diesem Fall auf dem zugehörigen Halbmesser, senkrecht steht, schwankt bei

der Erdbahn der von Tangente und zugehörigem Leitstrahl gebildete Winkel zwischen 89 und 91 Grad.

(10) Wahre und mittlere Erde. Anschauung und Rechnung wird durch Einführung einer bloß erdachten „mittleren Erde" gefördert, die neben oder mit der wirklichen „wahren Erde" derart um die Sonne läuft, daß die Umlaufszeiten beider Körper gleich sind. Da es sich uns vor allem um die größere oder kleinere Winkelgeschwindigkeit und nicht um Kilometerbeträge handelt, zeichnen wir eine Ellipse und um deren einen Brennpunkt einen beliebigen Kreis. Er darf z. B. durch das Perihel selbst gehen. Wir stellen uns nun im

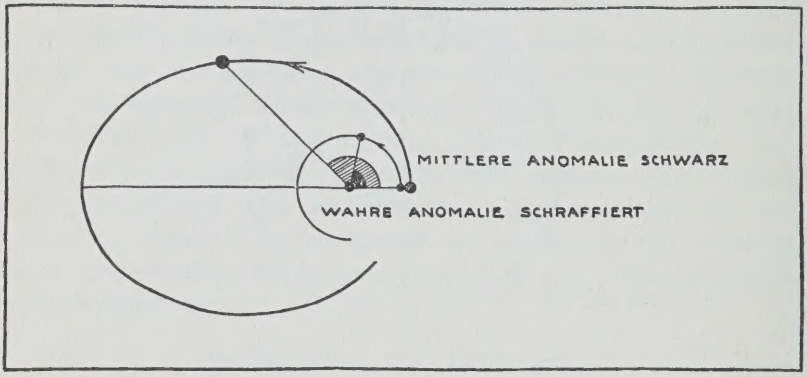


Bild 107. Wahre und mittlere Anomalie. Wahrer Körper läuft in Ellipse, „mittlerer" im Kreis. In Bild 102 wahre und exzentrische Anomalie

Perihel die wahre, unregelmäßig laufende und gleichzeitig die mittlere, stets gleichmäßig laufende Erde, beide gleichzeitig startend, vor. Voraussetzung soll sein, daß beide Körper nach genau einem Jahr wieder im ursprünglichen Ausgangspunkt eintreffen. Da die wahre Erde zuerst relativ rasch vorwärts kommt, d. h. Grade gewinnt, wird sie der mittleren gegenüber, von der Sonne aus beobachtet, einen Vorsprung haben. In einem bestimmten Zeitpunkt, etwa nach einem Viertel der Umlaufszeit, nehmen beide Körper bestimmte Stellungen ein (Bild 107). Der Winkel Perihel - Sonne - wahre Erde heißt wahre Anomalie, der Winkel Perihel-Sonne-mittlere Erde mittlere Anomalie. Je nachdem, ob die eine oder die andere Anomalie größer ist, läuft die eine oder die andere Erde in der Bahn voraus. Der Unterschied „wahre minus mittlere Anomalie" wird Mittelpunktsgleichung

genannt. Sie ist im Perihel und Aphel Null. Tragen wir die Beträge für die einzelnen Tage des Jahres graphisch auf, so erhalten wir die schon im Bild 35 als Restkurve bezeichnete Linie. Die dort aufgetragenen Zeitgleichungsbeträge setzen sich also, wie wir nun endgültig feststellen, aus zwei Beträgen zusammen, aus einer durch die Schiefe der Ekliptik bedingten und aus einer durch die verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten der Erde in ihrer elliptischen Bahn um die Sonne hervorgerufenen Unregelmäßigkeit.

(11) Parabolische und hyperbolische Bahn. Die Erde hat in ihrer Bahn eine durchschnittliche sekundliche Geschwindigkeit von 30 Kilometern, die ihrem Wesen nach geradlinig ist. Der siebente Abschnitt wird uns aber darüber belehren, daß die mit einer großen Masse begabte Sonne mit einer bestimmten Kraft die Erde anzieht und es so unmöglich macht, daß die geradlinig weiter strebende Erde dem Sonnenbereich ein für allemal entweicht. Die Sonne zieht die Erde ständig gerade so stark an, daß sich ein Kreislauf, wenigstens sehr annähernd, ergibt. Wir können uns aber ganz gut vorstellen, daß bei unendlich großer Stoßgeschwindigkeit die Erde einfach in gerader Linie eilt und enteilt, ohne daß selbst eine sehr große Anziehungskraft sie daran hindern könnte (Bild 108). Bei nicht unendlich großer Geschwindigkeit, die aber den sekundlichen Betrag von 42 Kilometern überträfe, würde die Erde in einer Hyperbel fliegen und nie mehr zum Sonnenbereich zurückkommen. 42 Kilometer bil-

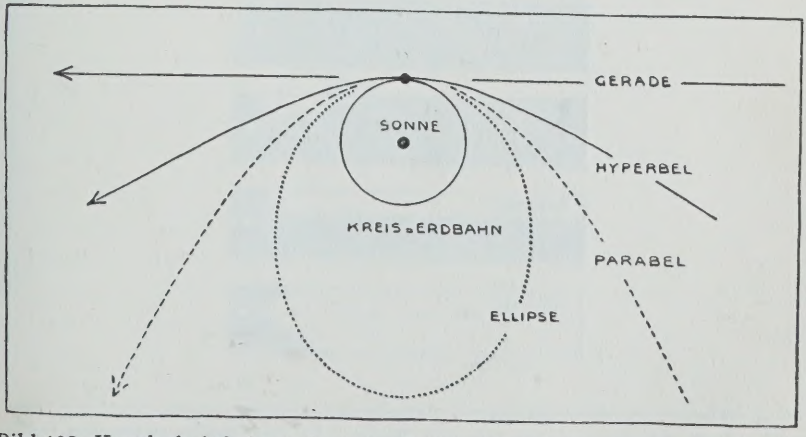


Bild 108. Kegelschnittbahnen fingierter Erden mit verschiedenen Geschwindigkeiten

den eine Grenzgeschwindigkeit, bei der die fingierte Erde in einer Parabel liefe. Kleinere Geschwindigkeiten würden dann Ellipsen geben und bei 30 Kilometern — den wirklichen Verhältnissen entsprechend — ungefähr einen Kreis. — Würde die Erde aus irgend einem Grunde langsamer laufen, so würde die Sonne sie zu immer schlankeren Bahnellipsen veranlassen. Bei einer angenommenen Geschwindigkeit Null müßte die Erde direkt in die Sonne fallen, weil keine seitliche Kraft sie daran hindern könnte. Heute startend, würde die Erde in 64 Tagen an der Sonne angelangt sein. Wir stellen die genannten Fälle in einer Tabelle zusammen:

Geschwindigkeit in Sekundenkilometern	Bahnlinie
0	Strecke
zwischen 0 und 30	Ellipsen
30	Kreis
zwischen 30 und 42	Ellipsen
42	Parabel
zwischen 42 und unendlich	Hyperbeln
unendlich	Gerade

Wichtig ist es, daß all die angegebenen Zahlen bis auf Null und unendlich nur unter der Voraussetzung stimmen, daß eben die Sonne

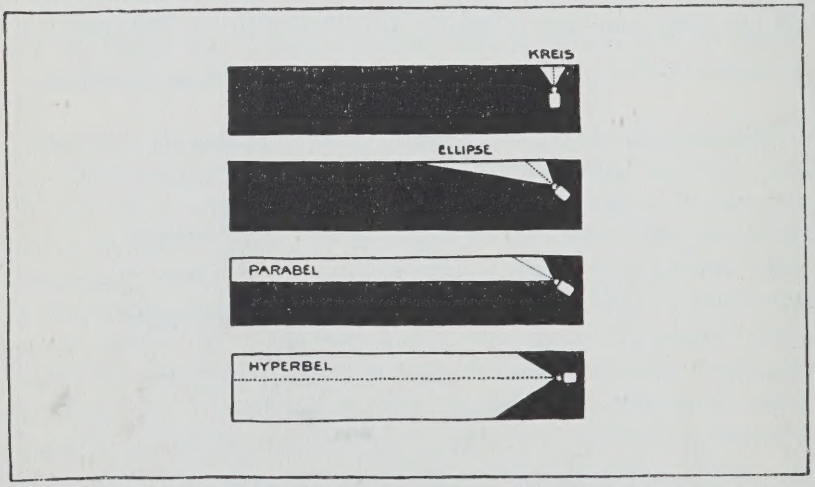


Bild 109. Taschenlampe im dunkeln Raum. An der Wand entstehen helle Figuren, von Kegelschnittlinien umgrenzt.

gerade die anziehende Masse besitzt, die sie eben besitzt, und keine andere. Wäre sie größer oder kleiner, so ergäben sich andere Rechenergebnisse. Es ist also möglich, aus diesen letzteren auf die die Bahn bestimmenden oder beeinflussenden Massen zu schließen.

(12) Lampenexperiment. Im dunkeln Raum kann der Lichtkegel, den eine gute Taschenlampe gleichmäßig ausstrahlt, zur Erzeugung von Kreisen, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln verwendet werden (Bild 109). Wird die Achse irgend eines Kreiskegels, also z. B. unseres Lichtkegels, durch eine Wand senkrecht oder in einem spitzen Winkel geschnitten, so ist die Schnittfigur, hier die Form der hellen Fläche, ein Kreis oder eine Ellipse. Ist die Schnittebene, die Wand, parallel zu einer Seite des Kegels, d. h. zu einem äußersten Lichtstrahl, so entsteht eine Parabel. Wird die Lampenachse noch weiter gedreht, bis sie beispielsweise parallel zur bestrahlten Wand ist, entstehen lauter Hyperbeln.

SECHSTER ABSCHNITT

ERDGESTALT

Abweichung von der Kugelgestalt / Meridianstücke / Geozentrische Breite / Erdzahlen / Geoid als Niveaufläche / „Wirkliche Erdgestalt" / Erde als Scheibe

(1) Abweichung von der Kugelgestalt. Wenn wir der Erde Kugelgestalt zuschreiben — eine, wie schon öfter betont, für viele Zwecke der Astronomie nicht nur erlaubte, sondern auch mitunter unumgängliche Angelegenheit — so muß jeder Meridian, von Pol zu Pol, genau ein Halbkreis sein. Stecken wir durch Stationsmarken lauter Meridianstücke derart ab, daß jeder Beobachter einer Station eine um 1 Grad größere Polhöhe oder geographische Breite hat, dann müssen die Wege von einer Station zur nächsten sämtlich gleich lang sein und 111,11 Kilometer betragen. Tatsächlich haben genaue Messungen ergeben, daß dies nicht der Fall ist, daß vielmehr nur etwa in der Mitte zwischen Pol und Äquator der Betrag stimmt, daß die genannten Eingradstücke auf jedem Meridian gegen die Pole zu an Länge zu-, gegen den Äquator an Länge abnehmen. Dies kann durch eine leichte Abplattung des Erdkörpers an den Polen erklärt werden.

(2) Meridianstücke. Im Bild 110 soll die übertrieben abgeplattete rundliche Figur einen durch die Erdpole gehenden Querschnitt durch die Erde darstellen. Südpol und Äquator sind besonders hervorgehoben. Am Äquator, am Nordpol und etwa mitten zwischen beiden sind, durch Punktepaare angedeutet, je zwei Beobachter so aufgestellt, daß die auf ihren Stationen gemessenen Polhöhenunterschiede je 1 Grad ausmachen. Je zwei Beobachter könnten längs der Erdoberfläche ihre gegenseitige Entfernung in Kilometern messen und würden rund folgende Beträge finden:

am Äquator	110 Kilometer
in mittlerer Breite	111 Kilometer
am Pol	112 Kilometer.

Schieben wir, alles unter Verwendung eines Modelles gedacht, zwischen die je zwei Beobachter einander kongruente, 1 Grad fassende Keile senkrecht zum Erdboden in den Erdkörper hinein, so sehen wir, daß der Keil am Äquator weniger tief und am Pol tiefer eindringen kann, als der mittlere Keil. Schneiden wir die aus dem Erdkörper herausragenden Keilteile ab, so können wir die Spitzen der drei gekürzten Keile als Mittelpunkte dreier Krümmungskreise und ihren

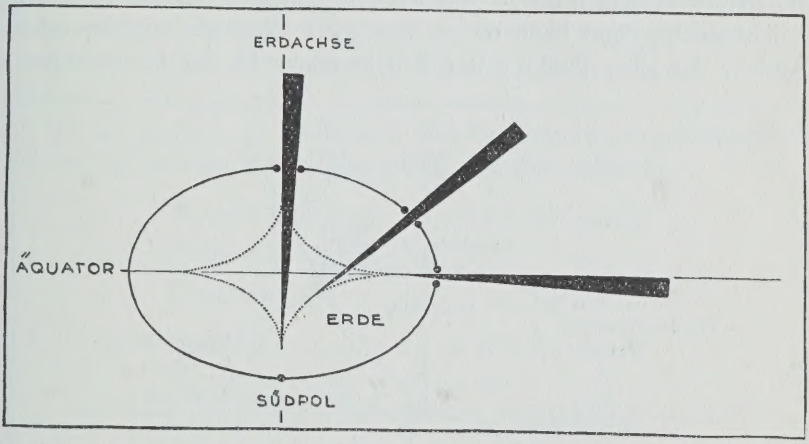


Bild 110. Gradmessung. Erdmodell mit übertriebener Abplattung. Drei kongruente Eingradkeile können zwischen je zwei Stationen, deren Polhöhenunterschied 1 Grad beträgt, nur verschieden tief eindringen.

Anteil am Meridian als einen sich an die Meridianellipse anschmiegenden Bogen betrachten. Je größer der Krümmungskreis, bzw. dessen Halbmesser, desto schwächer die Krümmung. Die Figur der meridionalen Umrißlinien der Erde sind so ermittelbar und damit die Erdabplattung. Messungen haben ergeben, daß die Strecke Pol-Erdmitte um 21 Kilometer kürzer ist als der Halbmesser des Äquators. Legen wir um die Erdmitte eine Kugel, die durch Nord- und Südpol geht, so bleibt außerhalb derselben eine am Äquator dickere und gegen die Pole zu allmählich dünner werdende Schale übrig, die wir den Äquatorwulst nennen (Bild 118). Würden wir uns statt der drei Keile deren 360 vorstellen, so würden die Spitzen auf der punktierten Linie liegen (Bild 110), die als Ort aller Krümmungskreismitten der meridionalen Ellipse aufgefaßt werden kann. Rotiert eine Ellipse entweder um die große Achse oder um die kleine Achse, so entstehen so-

genannte Rotationsellipsoide. Körper der ersten Art haben etwa Eiform. Körper der zweiten Art lassen sich mit runden Badeseifen vergleichen. Die Erde ist ein Rotationsellipsoid dieser zweiten Art. Die Drehachse ist kleiner als der Äquatordurchmesser.

(3) Geozentrische Breite. Man kann sich messend davon überzeugen, daß das Lot ständig senkrecht zur Erdoberfläche steht. Wenn keine Einwirkungen vorhanden sind, wie z. B. Einwirkungen sehr großer Gebirgsmassive oder auch von Massendefekten unter der Erdoberfläche, dann kann dieser Satz ganz allgemein ausgesprochen werden: An allen Punkten der Erdoberfläche ist das Lot senkrecht

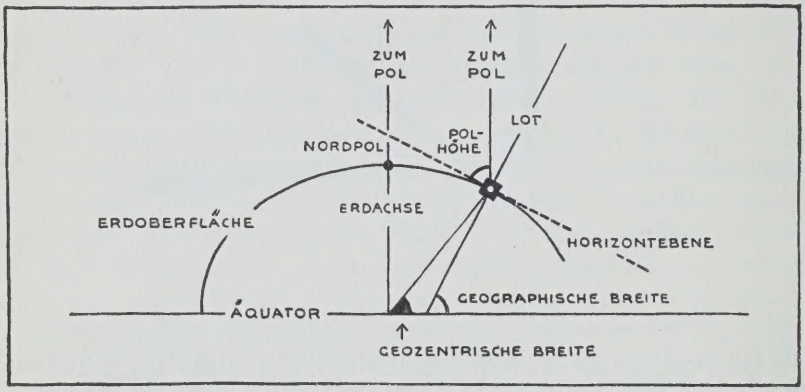


Bild 111: Geozentrische und geographische Breite. Unterschied höchstens 11 Bogenminuten

zur Berührungsebene des Erdkörpers am Beobachtungsort. In Bild 111 ist als Berührungsebene im Beobachtungsort dessen Horizontebene gezeichnet. Senkrecht zu ihr ist das Lot gezogen. Je mehr die elliptische Linie von der Kreislinie abweicht, desto mehr wird das Lot von der Richtung Beobachter - Erdmitte abweichen. Wir nahmen der Einfachheit wegen bisher an, daß das Lot in seiner Fortsetzung direkt auf die Erdmitte weise und nannten den Winkel zwischen Lot und Äquatorebene einfach „geographische Breite des Beobachtungsortes". Jetzt müssen wir zweierlei Begriffe und Namen deutlich auseinanderhalten: Für den Winkel zwischen verlängertem Lot und Äquatorebene behalten wir nach wie vor den Namen „geographische Breite", während wir für den Winkel zwischen Erdhalbmesser des Beobachtungsortes und Äquatorebene den Namen „geozentrische Breite"

einführen. Der früher aufgestellte Satz: „geographische Breite = Polhöhe“ bleibt nach wie vor bestehen, da wir ihn und die ganze Stellung der Himmelskugel aus der unmittelbaren Beobachtung von Lot und Wasserfläche ableiteten, die aber wieder als Berührungsebene des Erdkörpers gelten kann. Die beiden weißen Winkel in Bild 111 sind übrigens einander gleich, da ihre Schenkel konstruktionsgemäß paarweise aufeinander senkrecht stehen. — Die geographische Breite, die nach dem Lot bestimmt wird, kann durch die erwähnten Störungen um kleine Beträge gefälscht erscheinen, so daß an den Messungen nachträglich entsprechende Korrekturen angebracht werden müssen.

(4) Erdzahlen. Messungen und Berechnungen haben folgende Zahlen für den elliptischen Querschnitt der Erde ergeben:

Äquatorhalbmesser	=	6378	Kilometer
Polarhalbmesser	=	6357	„
Unterschied	=	21	Kilometer
Äquatorumfang	=	40 076	Kilometer
Meridianumfang	=	40 003	„
Unterschied	=	73	Kilometer
Äquatorquadrant	=	10 019	Kilometer
Meridianquadrant	=	10 001	„
Unterschied	=	18	Kilometer

Durchschnittlicher Erdhalbmesser = 6370 Kilometer.

Da das Urmeter nach seiner Definition genau der zehnmillionte Teil eines Erdquadranten sein sollte, müßte dieser 10 Millionen Meter oder 10 000 Kilometer betragen. Die Zahl 10 001 in der obigen Zusammenstellung zeigt, daß das Urmeter einen „Fehler“ von rund 0,1 Promille besitzt.

(5) Geoid als Niveaufläche. Ein mathematisch genaues Drehellipsoid wäre unsere Erde nur dann, wenn die Meridianschnitte wirkliche Ellipsen und diese bei jeder beliebigen geographischen Länge untereinander gleich wären. Beides ist „natürlich“ nicht der Fall, denn die „Natur“ kümmert sich in ihrer alle menschliche Phantasie überbietenden Mannigfaltigkeit nicht um mathematische Formeln und nicht um Gebilde, wie Kreis und Kugel, Ellipse, Parabel

usw. Dies sind nur menschliche Behelfe, um Erscheinungen und Gebilde der Natur irgendwie zu beschreiben. Wir sahen, daß die Erde eine Kugel ist in erster Annäherung. In zweiter ist sie ein Drehellipsoid. Auch dieses ist sie in Wirklichkeit nicht. Sie ist in dritter Annäherung ein „Geoid". Das ist ein Körper, zu dessen Erklärung man sich alle Kontinente, Ebenen wie hohe Berge, durch ein System von zahlreichen, Meer mit Meer verbindenden Kanälen durchzogen und von Ozeanwasser durchflossen vorstellen muß, so daß eine Art Gleichgewichtszustand der Flüssigkeit eintreten muß. Die durch die Oberflächen all dieser Kanäle und der Meere gelegte krumme Fläche schließt dann den Körper ein, den wir Geoid nennen. Diese und andere Niveauflächen zu ermitteln ist eine Aufgabe der Erdmessung oder Geodäsie, einer ebenbürtigen Schwesterwissenschaft der Astronomie.

(6) „Wirkliche Erdgestalt." Da das eben genannte Geoid nur eine abgeleitete Figur ist, liegt es nahe, nach der „wirklichen" Erdgestalt weiter zu fragen. Wir könnten etwa in soundsovielter Annäherung die Erde als das ansehen, was eine alles umfassende Erdkunde oder Geographie von deren Formen zu erzählen weiß. Da wir Menschen aber auch zur Erde gehören, und es nicht verboten ist, uns und das Buch, in dem wir blättern, als Bestandteile derselben anzusehen, so verändern wir schließlich in den Augen allzu Gründlicher sogar beim Umblättern „die Erdgestalt". Dabei ist so ein Blatt eine Welt von Molekülen, Atomen, Neutronen und Elektronen und — niemand weiß es — von was allem noch. Wer nach der „wirklichen Erdgestalt" noch weiter fragt, muß schließlich vorerst angeben, was „wirklich" heißt. Wissenschaft ist nicht, wie ein meterlanges Lexikon, eine Sammlung von lauter Wissen: sie ist rein menschliche Beschreibungskunst und wissenschaftlich ist nur der eingestellt, der scharf sieht, wo und welches die Grenzen dessen sind, was er nicht weiß und bei der wissenschaftlichen Darlegung eines Problems von vornherein auszuschalten hat.

(7) Erde als Scheibe. Numerieren wir die „Annäherungen" Kugel, Drehellipsoid, Geoid mit 1, 2, 3, so darf es vielleicht gestattet sein, zurückzunumerieren und etwa eine „nullte" Annäherung zu postulieren. Wir kämen so etwa zum Ergebnis: die Erde ist eine große Scheibe. Es hat zu viele Menschen gegeben, die über diese „Ansicht" lachten. Sie hätten es nicht getan, wenn sie

ein bißchen gescheiter gewesen wären. Das war oder ist keine Ansicht. Es ist eine Beschreibungsmöglichkeit für einen, der offene Augen hat. Es ist dies ebenso die breite Grundlage für irgend eine mehr oder weniger weitreichende Beschreibung wie das Festhalten an der Behauptung, daß die Erde etwa ein Geoid sei, eine ist. Es ist dies keine Ansicht im gewöhnlichen heutigen Sinn, sondern ein Versuch. Beide Versuche — ob Ebene oder Geoid — sind in gewissem Sinne gleich wahr, und schließlich beide weiter doch nichts als Beschreibung von „Ansichten", aber nicht in der Sprache derer, die das gesundnaive „Ansehen" eines Gegenstandes verlernt haben, sondern jener, die es noch besitzen und, ohne mißverstanden zu werden, ausüben können.

SIEBENTER ABSCHNITT

GRAVITATION

Geschwindigkeit und Beschleunigung / Dyn und Erg / Freier Fall / Schwerkraft / Geographische Änderung der Schwerkraft / Masse und Gewicht / Gauß'sche Gravitationskonstante / Newtons Gravitationsgesetz / Gravitationsregeln / Erd- und Sonnenanziehung / Zweikörperproblem

(1) Geschwindigkeit und Beschleunigung. Auf einer riesengroßen, vollkommen ebenen und vollkommen waagrechten Eisfläche stehe ein Schlittschuhläufer. Wir stellen uns vor, daß die Reibung zwischen Schlittschuh und Eisfläche gleich Null ist und daß auch keinerlei sonstiger Widerstand, wie etwa der der Luft, vorhanden ist. — Erster Fall: Wir erteilen dem Läufer einen momentanen Stoß. Er eilt dann mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über die Fläche und, wenn wir an dieser die Punkte bezeichnen, die er nach 1, 2, 3 Sekunden überfährt, so finden wir immer gleiche Zwischenräume, die gleiche Anzahl Meter. Der stets gleiche Weg in je einer Sekunde heißt die „Geschwindigkeit" des Läufers. Die Veranlassung zu einer solchen gleichmäßigen Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit ist eine einmalige, ganz kurz wirkende Kraft, Stoß genannt. — Zweiter Fall: Der Läufer soll von einem zweiten, der an den Schlittschuhen Vorrichtungen besitzt, die in das Eis einschlagen und so Reibung erzeugen, ununterbrochen vorwärts bewegt werden, und zwar immer mit derselben Kraft. Die dauernd wirkende Kraft zeitigt folgendes Ergebnis: Der Bewegte macht anfangs kleinere, dann größere und immer größere Wege je Sekunde. Der für gleichmäßige Bewegung geschaffene Begriff Geschwindigkeit hat zunächst keine rechte Anwendbarkeit. Doch könnten wir feststellen, wie groß die sekundliche „Zunahme der Geschwindigkeit" ist. Diese Geschwindigkeits z u n a h m e nennen wir „Beschleunigung".

(2) Dyn und Erg. Wir schmelzen in Gedanken das Pariser Urkilogramm ein und formen aus dem tausendsten Teil seiner Platiniridiummasse eine kleine Kugel. Sie hat dann die Masse 1 Gramm.

Diese Kugel soll uns unseren Schlittschuhläufer ersetzen und wir legen sie wieder auf eine vollkommen glatte Fläche. Dann wird sie, wieder reibungslose Zustände vorausgesetzt, nach einem kleinen momentanen Stoß in jeder Sekunde gleiche Strecken zurücklegen. Bewegen wir aber — zweiter Fall — die Kugel etwa durch gleichmäßiges und ununterbrochenes Drücken mit unserem Finger so, daß sie immer rascher und rascher läuft und in jeder Sekunde einen um 1 Zentimeter größeren Weg zurücklegt, also eine sekundliche Geschwindigkeits z u n a h m e von genau 1 Zentimeter stattfindet, dann heißen wir diese Dauerkraft, mit der der Finger auf die Kugel wirkt, ein Dyn. Es ist etwa dieselbe Kraft, mit der ein Regentropfen von kleinster Stecknadelkopfgröße unsere Handfläche beschwert. — Wirkt diese Kraft auf dem Wege von 1 Zentimeter, stoßen wir also unsere 1 Gramm schwere Kugel nur längs des Weges von 1 Zentimeter, so sagen wir: Wir haben die Arbeit „ein Dynzentimeter" oder „ein Erg" geleistet. Wenn eine Fliege, statt bloß ihren Körper an der Wand hinaufzubewegen, einen 1 Milligramm schweren Regentropfen auf dem Weg von 1 Zentimeter mitschleppt, dann leistet sie als Mehrarbeit ein Erg. 10 Millionen solcher kleiner Erg nennen wir ein Joule. Dies ist ungefähr die Arbeit, die wir leisten, wenn wir 1 Kilogramm 1 Dezimeter hoch heben. Leisten wir durchschnittlich jede Sekunde so ein Joule, so heißt diese sekundliche Arbeit ein Watt. Und wenn von Maschinen 1000 solcher Watt eine Stunde lang geleistet werden, dann ist der Arbeits- oder „Energiebetrag", den wir aus den Rechnungen des Elektrizitätswerkes her kennen, eine Kilowattstunde.

(3) F r e i e r F a l l. Das bekannteste Beispiel für eine dauernd und gleichmäßig wirkende Kraft ist die Schwerkraft, mit der die Erde, wir sagen: infolge ihrer großen Masse, auf einen Stein wirkt. Dieser fällt, wenn er nicht unterstützt ist, in der Richtung des Lotes, wie man sich ausdrückt, „gegen den Mittelpunkt der Erde". Wir sagen auf Grund der Erfahrung des vorigen Abschnittes genauer: nahezu in dieser Richtung, nur an den Polen und am Äquator genau in ihr. Die auf den Stein ausgeübte Dauerkraft ist so groß, daß er in der ersten Sekunde rund 5 Meter fällt und daß er in jeder weiteren Sekunde einen um rund 10 Meter längeren Weg zurücklegt. Dies ist also seine dauernde Geschwindigkeitszunahme oder Beschleunigung. In Wirklichkeit sind es nicht volle 5 und nicht volle 10 Meter. Wäre aber unsere Erde etwas massenreicher, so würden diese Zufallszahlen genau

stimmen. Eine solche etwas massenreichere Erde stellen wir uns nun bei den folgenden Gedankenversuchen vor. An einem 125 Meter hohen Turmhaus bezeichnen wir, oben beginnend, die Abstände vom oberen Rand an: 5, 20, 45, 80 und, in Bodenhöhe, 125 Meter. Lassen wir nun — Luft und andere Widerstände weggedacht — einen Stein aus der Höhe der obersten Plattform fallen, dann ist er am Ende der einzelnen Sekunden genau bei den angegebenen Marken. Er legt also in einer Sekunde 5, in zweien 20, in dreien 45, in vieren 80 und in fünf Sekunden 125 Meter zurück. Statt dieser Zahlen kann auch geschrieben werden: $5\ m \times 1$, $5\ m \times 4$, $5\ m \times 9$, $5\ m \times 16$, $5\ m \times 25$. Die Faktoren 1, 4, 9, 16, 25 sind aber die Quadrate von 1, 2, 3, 4, 5. Es besteht also das Gesetz: Gesamter Fallweg = 5 Meter, multipliziert mit dem Quadrat der verflossenen Sekunden. Statt 5 Metern ist der genauere Betrag von 4,9, statt der 10 Meter Beschleunigung 9,8 Meter zu setzen.

(4) Schwerkraft. Der Versuch am Turmhaus bot eine Möglichkeit, die Größe der Schwerkraft zu veranschaulichen oder zu messen. Die 9,8 Meter Beschleunigung sind ein Maß für die irdische Schwerkraft. Wir können diese Dauerkraft, mit der unser Stein von der Erde angezogen wird, auch durch ein anderes, weniger Raum beanspruchendes Verfahren veranschaulichen. Wir hängen ihn an eine Spiralfeder und messen die Ausdehnung der Feder mit dem Metermaß. Wir können also Kräfte sowohl „dynamisch" messen durch Beobachtung des freien Falles, als auch „statisch" durch Federbelastungen.

(5) Geographische Änderung der Schwerkraft. Die Schwerkraft ist erfahrungsgemäß an den Polen etwas größer, als am Äquator. Gleichlange Pendel schwingen am Pol innerhalb einer Stunde öfter hin und her, als am Äquator. Die Zahlenreihen in den „Erdtafeln" lassen erkennen, wie Sekundenpendel je nach der geographischen Breite in ihrer Länge verändert werden müssen. — Es ist aus den Tafeln auch zu ersehen, wie die sekundlichen Beschleunigungen an der Erdoberfläche vom Äquator bis zu den Polen zunehmen. Stellen wir uns eine grandiose Apparatur vor, vom Pol bis zum Äquator laufend, turmhohe Ständer mit reibungslosen Rollen darauf. Wäre am Nordpol und am Äquator die Anziehungskraft gleich, so würden hier wie dort genau 100 Kilogramm einander das Gleichgewicht halten. Ein Versuch würde uns jedoch belehren, daß 100½ Kilogramm am Äquator schon mit 100 Kilogramm am Nord-

pol ausbalanciert werden könnten. Es nimmt also jeder Körper, der sich vom Äquator zum Pol bewegt, automatisch um ½ vom Hundert seines Gewichtes zu.

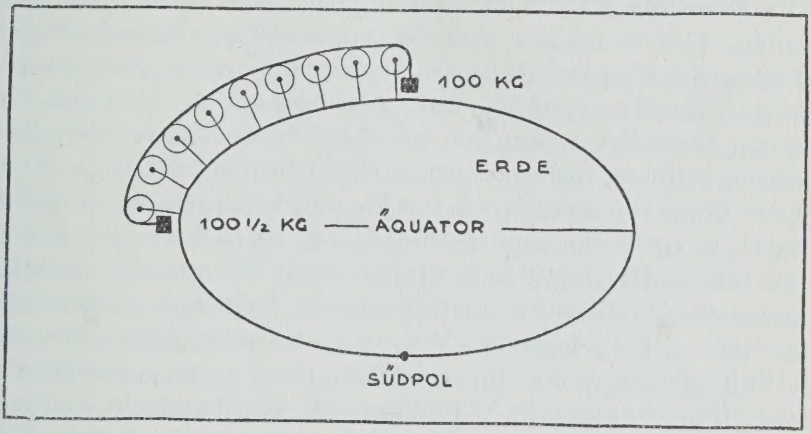


Bild 112. Erdmodell übertrieben abgeplattet. 100½ kg am Äquator sind wegen der relativ großen Entfernung von der Erdmitte und wegen der Fliehkraft nach außen nur ebenso schwer wie 100 kg am Pol.

(6) Masse und Gewicht. Was sich bei der Reise vom Äquator zum Pol verändert, ist die unmittelbare Kraft, mit der ein Gegenstand angezogen wird, sei es ein Eisenblock oder ein Mensch. Ein aus der Fabrik geliefertes Eisenstück mit der Aufprägung „1 Kg" wird von der Erde etwa in Mitteleuropa mit der Kraft 1000 Gramm angezogen, am Pol aber etwas stärker und am Äquator etwas schwächer. Was sich ändert, ist die Kraft, mit der das Eisen angezogen wird und diese nennen wir das Gewicht des Körpers. Was sich nicht ändert, nie ändert, nennen wir die Masse. Sie ist gleichsam der Inbegriff aller Atome, aus denen das Eisenstück besteht, sei es, daß man am Pol oder am Äquator oder wer weiß wo mit ihm Versuche anstellt. Wir müssen also bei „Kilogramm" oder „Gramm" je zweierlei unterscheiden oder zum mindesten unterscheiden können. Kilogamm-Masse und Kilogramm-Gewicht, Gramm-Masse und Gramm-Gewicht. — Nehmen wir als gedankliches Versuchsobjekt dasselbe Eisenstück wie zuvor, auf dem das Zeichen „1 Kg" zu lesen ist! Ich halte es — als Zauberer, der beliebige Naturkräfte ein- und ausschalten kann — in der Hand, 2 Meter über dem Boden und —

schalte die Anziehungskraft der Erde aus. Ich überlasse das Eisenstück in der Luft seinem Schicksal, kümmere mich nicht weiter um dasselbe, gehe ins Nebenzimmer und beobachte von dort aus. — Das Eisenstück schwebt in der Luft, sieht aber genau so aus wie vorhin. Was es ureigen auch bei ausgeschalteter Schwerkraft als schwebendes Ding besitzt, ist die Kilogramm-Masse. — Jetzt schalte ich im Gedankenexperiment die Anziehungskraft der Erde ein. Es kommt etwas Neues dazu, von außen her, etwas, was von der Umgebung herrührt, vom sogenannten Gravitationsfeld der Erde. Erst dieses Etwas von außen erteilt dem Eisenstück Schwere, die es sinken macht, es erteilt ihm eine Beschleunigung. Es muß also dies Etwas eine örtliche Dauerkraft sein und diese Kraft erst nennen wir streng genommen das „Gewicht" des Eisenstückes. Soviel vom „Kilogrammgewicht". — Die Kilogramm - M a s s e des Eisenstückes ist, wenn wir bildlich sprechen wollen, direkt sichtbar. Das Kilogrammgewicht am Eisenstück ist unsichtbar. Wir erkennen die Eigenschaft des Stückes, Gewicht zu besitzen, nur an Äußerungen, wie beschleunigtem Fall oder auch Druck auf die Unterlage. So wie bei unserem Eisenstück muß auch bei allen anderen Körpern Masse und Gewicht stets auseinandergehalten werden. Tun wir es nicht gerade immer und immer, so muß das nicht unbedingt eine Gedankenlosigkeit sein, denn im gewöhnlichen Verkehr fallen diese Unterschiede weg. Und so soll es auch verziehen sein, wenn wir bei Mond und Sonne, als wir von deren Masse sprachen, mit vollster Überlegung sagten: sie sind soundso schwer. Wir stellen sie uns komprimiert, meinetwegen bis zur Größe unseres Eisenstückes, vor und sind uns dann sicher, daß, wenn soundso viel Kilogramm „Gewicht" angegeben wird, der einsichtige Leser überzeugt ist, daß es sich nur um Masse handeln kann. — Eigentlich ist das wirkliche Gewicht relativ, denn wenn die Erde bei gleicher Größe massenreicher wäre, so hätte unser Eisenstück mehr Gewicht als sonst. So könnten wir auch vom Gewicht des Mondes relativ zur Sonne sprechen oder vom Gewicht der Erde relativ zur Sonne, wobei die Himmelskörper alle dort blieben, wo sie sind. Statt dessen sprechen wir lieber von der von der Sonne auf den Mond oder die Erde ausgeübten Anziehungskraft.

(7) G a u ß ' s c h e G r a v i t a t i o n s k o n s t a n t e. Daß die Erde uns oder ein Stück Eisen „anzieht", ist eine Eigenschaft, die erfahrungsgemäß all dem zukommt, was wir Masse nennen. So konnte man

einwandfrei die Anziehung großer Berge auf Lote, die Anziehung großer Bleiklötze auf Elfenbeinkugeln messen und schließlich ausrechnen, mit welcher Kraft sich auch noch so kleine Kugeln gegenseitig anziehen müssen. — Jede Masse zieht eine andere an. Die Begriffe „Masse" und „Anziehung" — oder Gewicht — sind voneinander überhaupt nicht zu trennen. Eine Masse ohne Anziehung ist ein Unding. Um für die Anziehung eine Maßeinheit zu schaffen, wurde festgestellt, mit welcher Kraft eine 1 Gramm schwere Kugel eine zweite, ebenso schwere Kugel anzieht, wenn die Mittelpunkte dieser Kugeln 1 Zentimeter voneinander abstehen. Diese winzig kleine Kraft wirkt mit dem 15millionten Teil des Druckes, den ein Milligramm auf eine Unterlage ausübt. Man benennt diese konstante Krafteinheit nach Gauß. Genau ist, in Dynen gemessen, die Gauß'sche Gravitationskonstante = 0,000 000 066 5 Dyn. Rechnen wir statt in Dynen weiter im Grammsystem, so läßt sich zeigen, daß sich zwei Äpfel von je 100 Gramm Masse im Abstand von 10 Zentimetern mit der Kraft von $^1/_{150\,000}$ Milligramm, zwei Menschen von je 70 Kilogramm Masse, 1 Meter von einander entfernt, mit der Kraft von 0,03 Milligramm, zwei Dampfer von je 25 000 Tonnen Masse und 1 Kilometer voneinander entfernt, mit der Kraft von 4 Gramm anziehen. Die Beispiele sollten nicht nur Tatsachen bringen, sondern absichtlich pedantisch den Gegensatz von Masse und Gewicht oder Kraft bei „Gramm" und „Kilogramm" hervorkehren. Der allgemeine Sprachgebrauch hätte einen leichteren Stil empfohlen: Zwei Menschen von 70 Kilogrammgewicht usw.

(8) Newtons Gravitationsgesetz. Halten wir die beiden vorhin erwähnten 1 Gramm schweren Kugeln nicht 1, sondern 2 Zentimeter auseinander, dann ist die gewiß kleiner gewordene Kraft, die zwischen diesen beiden wirkt, nicht etwa halb so groß, sondern sie beträgt nur den 4. Teil, bei 3 Zentimetern den 9. Teil, bei 4 Zentimetern den 16. Teil. Man drückt dies so aus: Die Anziehungskraft zwischen zwei zunächst gleich schweren Körpern nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab. Bei 10 Zentimetern gegenseitiger Entfernung wirken die 1 Gramm schweren Kugeln nicht mehr mit $^1/_{15\,000\,006}$ Milligramm, sondern nur mit dem hundertsten Teil hievon. Nehmen wir aber statt der einen 1 Gramm schweren Kugel eine 1000 Gramm schwere, dann ist deren Anziehungskraft 1000 mal so groß. Ist auch die zweite Kugel 1000 Gramm schwer, dann vertausendfältigt sich

neuerdings die gegenseitige Anziehung. Zusammenfassend sagen wir: Die gegenseitige Anziehungskraft nimmt zu mit dem Produkt der Masse der Körper. — Unser erster Satz liefert nun in Verbindung mit der Gauß'schen Gravitationskonstanten das Newtonsche Gravitationsgesetz: Wir finden die gegenseitige Anziehungskraft zweier Körper, wenn wir die Gauß'sche Gravitationskonstante, rund ein 15milliontel Milligramm, mit der Anzahl der Gramm des einen Körpers und dann mit der Anzahl der Gramm des zweiten Körpers multiplizieren und das Rechenergebnis durch das Quadrat der gegenseitigen Zentimeterentfernung dividieren. Als Beispiel für dieses Universalgesetz nehmen wir die zwei im vorigen Kapitel erwähnten Menschen. Sie stehen nebeneinander, 1 Meter voneinander entfernt. Jeder ist 70 000 Gramm schwer. Sie ziehen sich physisch an, selbst wenn sie nur von ausgesprochener gegenseitiger Antipathie was zu erzählen haben sollten. Wir multiplizieren ein 15milliontel Milligramm mit 70 000, dann wieder mit 70 000 und dividieren nachher durch 100mal 100. Resultat: Sie ziehen sich gegenseitig mit 0,03 Milligramm an. Ein anderes Beispiel: Die Erde ist 6000 Quadrillionen, die Sonne 2000 Quintillionen Gramm schwer, ihre gegenseitige Entfernung beträgt 150 Millionen Kilometer, das sind 15 Billionen Zentimeter. Sie ziehen sich also gegenseitig an mit einem 15milliontel Milligramm, dieses mal 6000 Quadrillionen, das Produkt mal 2000 Quintillionen, das Ganze endlich dividiert durch „15 Billionen mal 15 Billionen". Resultat: Erde und Sonne ziehen sich mit einer Kraft von rund 4000 Trillionen Kilogramm an.

(9) Gravitationsregeln. Das universale Gravitationsgesetz äußert sich anschaulich in drei Regeln, die wir an einem Beispiel von 3 Kugeln, einer massenreichen, einer massenarmen und einer von mittlerer Masse illustrieren wollen (Bild 113). Die Beschleunigungen, um die es sich in diesen Regeln handelt, sind durch kleinere und größere Pfeile, wenn auch nur schematisch und nicht ganz maßstäblich, versinnbildlicht.

I. Regel: Eine große und eine kleine Masse erhalten durch eine dritte beliebige Masse, die von den ersten zweien gleich weit absteht, gleiche Beschleunigungen. II. Regel: Eine große und eine kleine Masse erteilen einer dritten beliebigen Masse, die von den ersten zweien gleich weit absteht, verschieden große Beschleunigungen. Eine 10mal so große Masse erteilt eine 10mal so große Beschleuni-

gung. III. Regel: Eine Masse erteilt zwei anderen, einer näheren und einer weiteren, gleichgültig, wie groß diese sind, verschiedene Beschleunigungen, einer 10mal weiteren nur eine 100mal kleinere Beschleunigung. — Als vierte Regel könnten wir einen exakt beweisbaren Satz hinstellen, der für alle Kugeln gilt, in denen die Dichte um

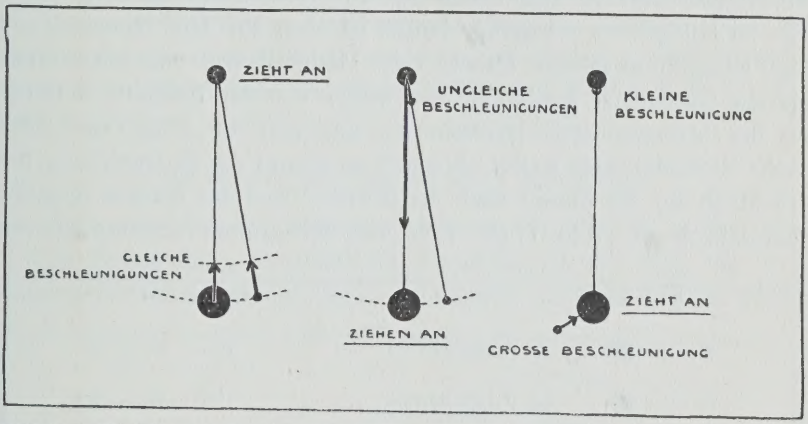


Bild 113. Drei Gravitationsregeln. Gleiche oder verschieden lange Pfeile versinnbildlichen Gleichheit oder Verschiedenheit der erteilten Beschleunigungen.

die Kugelmitte konzentrisch angeordnet ist, wie es bei den Himmelskörpern fast allgemeine Regel ist: Jeder kugelförmige Körper zieht derart an, als ob seine gesamte Masse in seinem Mittelpunkt vereinigt wäre. — Nach diesem Gesetz ist die im fünften Kapitel geschilderte Zunahme der Schwerkraft mit der geographischen Breite erklärbar. Es ist aber noch eine zweite Ursache für die Änderung da: die durch die Erdrotation erzeugte Fliehkraft, die gegen den Äquator zu wächst und eine Gegenkraft gegen die Schwerkraft bedeutet. Bei einer fingierten Wanderung vom Äquator längs eines Meridians bis zum Pol nimmt das Gewicht eines Wanderers konstanter Masse zunächst einzig und allein infolge der aus der Erdfigur sich ergebenden Annäherung an die Erdmitte um 2 Promille zu, dann wieder um 3 Promille infolge Nachlassens und schließlich Verschwindens der Zentrifugalkraft zu, so daß insgesamt eine Zunahme um 5 Promille oder ½ Prozent sich ergibt, entsprechend dem halben Kilogramm bei der Last von hunderten im Rollenversuch des fünften Kapitels.

(10) Erd- und Sonnenanziehung. Die sekundliche Be-

schleunigung von rund 10 Metern kann innerhalb eines großen Saales als konstant angesehen werden, aber eigentlich ist sie schon am Boden etwas größer, als an der hohen Decke, denn diese ist von der Erdmitte weiter entfernt als der Saalboden. Der Unterschied ist freilich sehr gering, kann also im allgemeinen vernachlässigt werden. Bei größeren Höhenunterschieden macht sich die Änderung allerdings bemerkbar. Ein 70 Kilogramm schwerer Mensch ist oben auf dem Himalaja nur 69,9 Kilogramm schwer. Dabei ist der Mount Everest nur etwas mehr als ein tausendstel Erdhalbmesser weiter von der Erdmitte entfernt als der Meeresspiegel. Erheben wir uns aber um einen, zwei oder mehr Erdhalbmesser weiter „hinauf", so nimmt die Erdanziehung beträchtlich ab. Sie nimmt nach der dritten Regel des vorigen Kapitels quadratisch ab (Bild 114). Eine 144 Kilogramm schwere eiserne

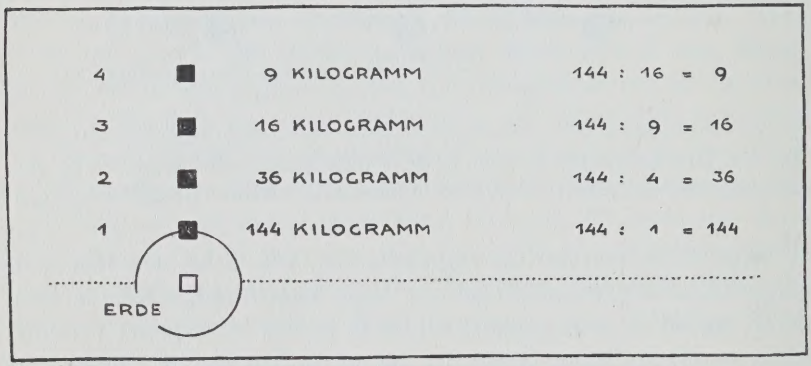


Bild 114. 144 kg schwere eiserne Kasse. Ihr Gewicht ist je nach den Entfernungen 1, 2, 3, 4 Erdhalbmesser durch 1, 4, 9, 16 zu dividieren. In Mondentfernung ist sie „40 Gramm schwer." Ihre „Masse" bleibt aber stets 144 Kilogramm.

Kasse wird, wenn sie sich auf 2, 3, 4 Erdhalbmesser von der Erdmitte entfernt, 36, 16 und schließlich nur 9 Kilogramm schwer, etwa auf einer Federwaage gewogen, deren Träger bis in jene Weiten hinausreichte. Eine Krämerwaage würde keine guten Dienste leisten, denn bei ihr würden eiserne Kasse und geeichte Gewichte gleichmäßig leichter werden. In der Entfernung von 60 Erdhalbmessern, also im Bereich der Mondbahn, wäre die eiserne Kasse nur 40 Gramm schwer, wie eine Semmel hier auf dem Tisch. Wir sind somit „überzeugt", daß unsere Erde zwei auf Monddistanz geratene Weltraumpilger, zu-

sammen 144 Kilogramm schwer, genau so sorgsam festhält, wie eine Semmel hier neben mir auf dem weißen Teller. — Im Mittelpunkt der Erde hätte die Kasse kein Gewicht, denn sie wüßte mit dem besten Willen nicht, in welche Richtung sie fallen sollte. — Beim Mond hört übrigens die Herrschaft der irdischen Gravitation nicht auf. Sie wird schließlich verschwindend klein, dies ist aber ein relativer Begriff. In 10 Trillionen Kilometern Entfernung — was das bedeutet, wird im vierten, stellaren Teil offenbar, wenn wir von fernsten Sternenwelten sprechen — wird unsere phänomenale Eisenkasse auch noch von der Erde angezogen, wenn auch nur mit weniger als

0,000 000 000 000 000 000 000 1 Milligramm.

Theoretisch hat der Anziehungsbereich der Erde keine Grenzen. — Die Sonne ist 332 000mal massenreicher als die Erde, ihr Anziehungsbereich ist entsprechend wirksamer. In Bild 115 ist durch

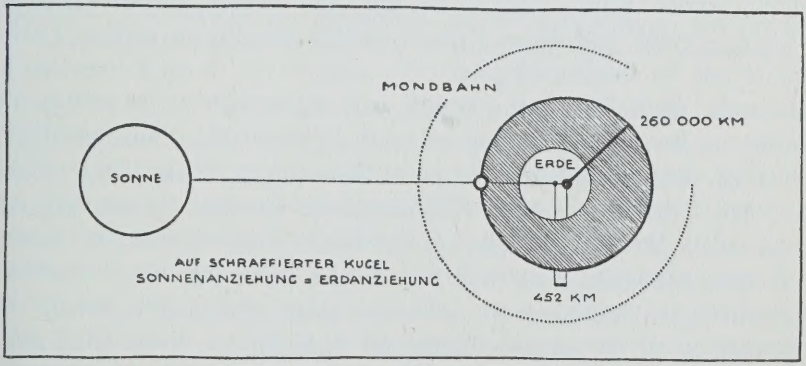


Bild 115. Mondbahn und Äqualkugel, auf deren Oberfläche Sonnen- und Erdanziehung einander gleich sind. Der Mond wird in allen Punkten seiner Bahn von der Sonne stärker angezogen als von der Erde.

Schraffen eine Kugelfläche angedeutet, auf deren sämtlichen Punkten die Anziehung von seiten der Sonne gleich der von seiten der Erde ist. So ein neutraler Punkt, in dem ein Weltraumfahrer nicht weiß, ob er zur Erde oder in die Sonne stürzen soll, ist durch einen kleinen Ring besonders angegeben. Der nicht schraffierte Kreis innerhalb der schraffierten „Äqualkugel", wie wir sie nennen wollen, stellt die Erde dar. Der Halbmesser der Äqualkugel mißt 260 000 Kilometer. Ihr Mittelpunkt steht von der Erdmitte 452 Kilometer ab.

(11) Zweikörperproblem. Wir betrachten zwei Körper hinsichtlich ihrer gegenseitigen Massenanziehung, schalten alle anderen Einflüsse aus und suchen auf Grund der gegenseitig sich erteilenden Beschleunigungen die Bahnen zu ermitteln, die die beiden Körper entweder in bezug auf den einen oder den anderen Körper oder in bezug auf den gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Wir haben auf diese Art das sogenannte „Zweikörperproblem" vor uns. Ein solches lag uns schon früher vor, als wir der Erde verschiedene Geschwindigkeiten befohlen hatten. Doch hatten wir dort nur die Bahnlinien beschrieben, ohne physikalische, etwa durch das Gravitationsgesetz bedingte, Zusammenhänge weiter zu beachten. Jetzt soll z. B. die Erdbahnellipse aus dem Gravitationsgesetz heraus im eigentlichen Sinn des Zweikörperproblems erklärt werden. — Wäre mir gegenüber, irgendwo im Weltall, ein Körper so weit von der Vorderkante meines Arbeitstisches entfernt, daß die Erdanziehung vernachlässigt werden kann — wir wollen auch alle anderen Einflüsse beiseite lassen — und liefe dieser Körper zufällig parallel zu meiner Tischkante mit der Geschwindigkeit von — sagen wir — 30 Kilometern je Sekunde, dann wäre kein Grund vorhanden, daß er je anders als immer in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit dahinzöge. Der allgemeine Sinn dieser Behauptung drückt sich im Galileischen Beharrungs- oder Trägheitsgesetz aus, das besagt, daß ein von allen Massen, die ihn etwa durch Anziehungskräfte stören könnten, genügend weit entfernter Körper seine irgendwie erhaltene Geschwindigkeit und deren Richtung ununterbrochen beibehält. — Betrachten wir nun die Kreisbahn der Erde um die Sonne (Bild 116). Die Erde hat eine sekundliche Geschwindigkeit von 30 Kilometern und entspricht etwa dem oben erfundenen Körper. Sie müßte, wenn die Sonne massenlos wäre und nicht anziehen könnte, in alle Ewigkeit geradlinig weiterlaufen. Nun teilen wir die 30 Kilometer in 30 000 Teile. Die Erde geht in einer 30 000stel Sekunde geradeaus ein Meter weiter, wird aber gleichzeitig von der Sonne zu dieser etwas herangezogen. Die beiden Bewegungen, 1 Meter geradeaus und der winzige Betrag gegen die Sonne hin, setzen sich zusammen. Die Erde läuft in der Diagonale des so entstehenden Viereckes. Sie will wieder 1 Meter in der Fortsetzung der Diagonale „geradeaus", wird aber durch das Gängelband Gravitation gleichzeitig wieder etwas sonnwärts gezogen. So entsteht bei den in Wirklichkeit vorhandenen Zahlen-

verhältnissen eine gekrümmte, eine ungefähre Kreisbahn. Wem die Knickungen in der Zeichnung noch zu roh erscheinen, kann Millimeter statt der Meter nehmen, oder milliontel oder billiontel Millimeter, bis er zufrieden ist. Jedenfalls lassen sich so außer der stetig gekrümmten kreisähnlichen Bahn bei geänderten Geschwindigkeiten

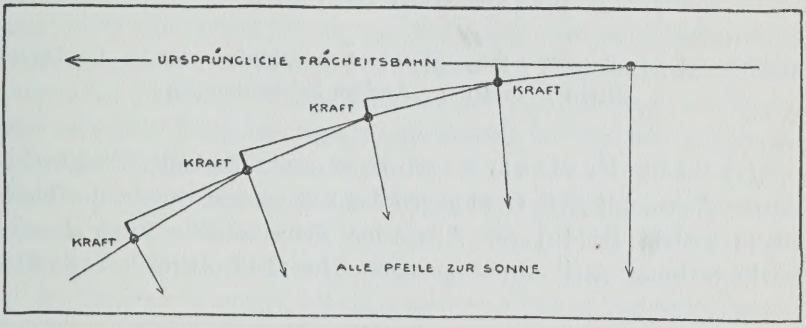


Bild 116. Zentralbewegung, zusammengesetzt aus Trägheitsbahn und aus Beschleunigungen gegen ein Zentrum, hervorgerufen durch eine Dauerkraft.

auch eine rein kreisförmige sowie ausgesprochen elliptische oder parabolische und hyperbolische Bahn erklären, wie sie uns in großer Mannigfaltigkeit später, besonders in den Abschnitten über Kometen und Meteore, begegnen werden. All diese Überlegungen bilden Teilaufgaben des Zweikörperproblems, dessen Inhalt folgendermaßen formuliert werden kann: Es sollen, wenn abseits aller störenden Einflüsse zwei Weltkörper gedacht werden, die eine beliebige gegenseitige Geschwindigkeit in beliebiger Richtung besitzen, die Bahn des einen Körpers um den andern oder die des zweiten um den ersten oder schließlich die Bahnen eines jeden dieser zwei Körper um deren gemeinsamen Schwerpunkt ermittelt werden. Die Lösung der Aufgabe besagt, daß es sich einzig und allein um Kegelschnittlinien handeln kann, um Kreise, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln, oder auch Geraden, die ebenfalls zu den Kegelschnittlinien gezählt werden können.

ACHTER ABSCHNITT

PRÄZESSION DER ERDE

Stahlkreisel / Erdkreisel / Präzession und Sternbilder / Dauer der Jahreszeiten / Nutation / Andere Schwankungen

(1) Stahlkreisel. Es wird ein raschrotierender Stahlkreisel, dessen Achse mit 23½ Grad gegen das Lot geneigt ist, auf die Tischplatte gestellt (Bild 117). Alle seine Teile werden durch die Gewichtswirkung nach unten gezogen. In nichtrotierendem Zustand

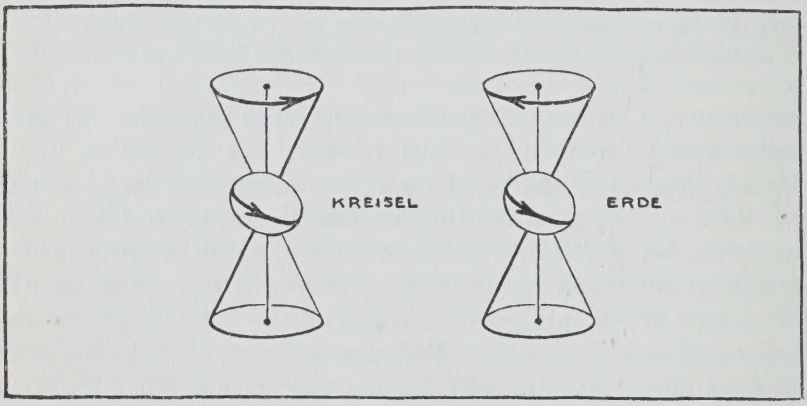


Bild 117. Stahlkreisel: Äquatorpunkt und Achse haben gleichen Drehsinn. Erdkreisel: Äquatorpunkt und Achse rotieren entgegengesetzt zu einander.

müßte der Kreisel sofort umfallen. Am rotierenden machen wir die Beobachtung, daß er es nicht tut, sondern daß die Kreiselachse den Winkel mit der Lotlinie beibehält und eine Kegelbewegung beschreibt, und zwar derart, daß Drehsinn des Kreiselkörpers und Drehsinn des freien Achsenendes dieselben sind. Die Bewegung kann man Präzessionserscheinung nennen. Beziehen wir alle Bewegung nicht auf den Tischpunkt, sondern auf die Kreiselmitte, dann erhalten wir den Zustand, der etwa bei ideal glatter Tischfläche hergestellt ge-

dacht werden könnte, daß die beiden Achsenstücke über und unter dem Kreiselkörper je zwei Kegel in Sanduhrform beschreiben. — Würde die konstante Kraft nach oben, aufrichtend, wirken — hervorgerufen etwa durch einen Riesenmagneten — würden Achsenenden und Kreiselumfangspunkt in einander entgegengesetzten Richtungen rotieren.

(2) Erdkreisel. Dieser zweite Fall, eine aufrichtende Wirkung, findet nun tatsächlich bei der Erde statt. Sie ist als rotierendes Ellipsoid zunächst ein regelrechter Kreisel. Der Äquatorwulst gibt sozusagen das Schwungrad ab, die Polarachse ist Drehachse. Bei waagrecht gedachter Erdbahn- oder Ekliptikebene beträgt der Neigungswinkel der Kreiselachse gegen das Lot 23½ Grad, wie im vorigen Beispiel. Als aufrichtende Kraft möge zunächst die Sonne in Betracht gezogen werden. Wir lassen um ein Erdmodell in Gedanken ein Sonnenmodell in der Ekliptikebene herumlaufen. Dies wirkt im Verlauf der Jahre nicht anders, als ein massiver geschlossener Ring, dessen

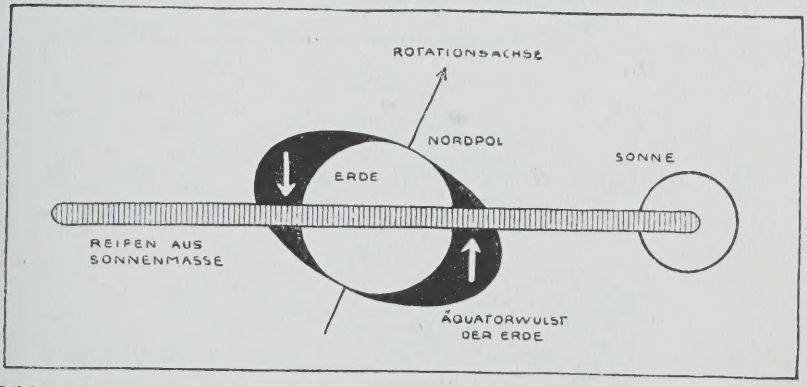


Bild 118. Präzession. Die 2 Quintillionen Kilogramm schwere Sonnenmasse wird zu einem ebenso schweren Reifen um die Erde ausgezogen gedacht. Er sucht den Erdwulst oben hinab- und unten hinaufzuziehen.

Halbmesser der Entfernung Erde-Sonne gleicht und dessen Masse gleich der der Sonne ist, so als ob diese in einen langen soliden Faden ausgezogen wäre. Dieser in der Höhe der Erdmitte schwebende Ring wirkt durch Gravitation auf den Äquatorwulst, sucht den über der Ekliptik befindlichen Teil hinab und den unter ihr befindlichen nach oben zu ziehen (Bild 118). Auch der Mond wirkt, sogar in noch bedeutend stärkerem Ausmaße in gleicher Weise auf die Erdachse ein. Die gesamte Wirkung ist jedenfalls die, daß die Kreiselachse der Erde auf-

gerichtet, der Winkel von 23½ Grad verkleinert werden soll. So werden Achsenende und Äquatorpunkt dem vorigen Kapitel gemäß in einander entgegengesetzten Richtungen kreisen. Ein Äquatorpunkt läuft um die Erdachse nach wie vor westöstlich. Als Spiegelbild dieser

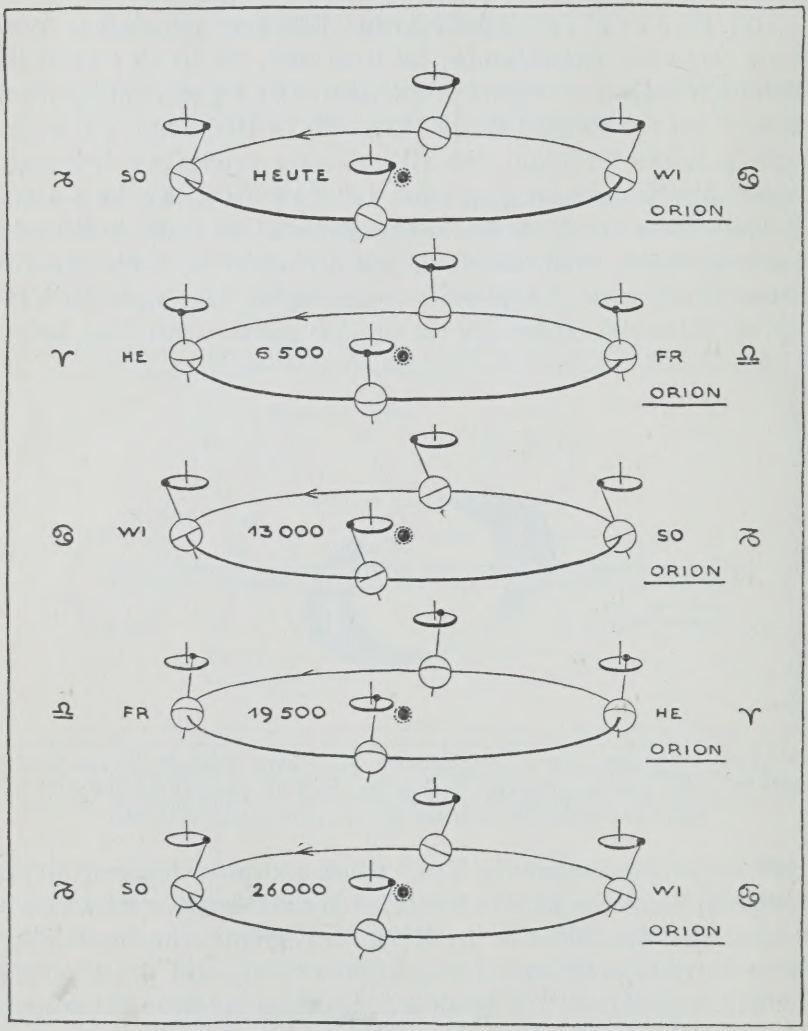


Bild 119. Erdachsenstellungen im Verlauf eines Platonischen Jahres. Zahlen bedeuten Jahre. Sterne bleiben ruhend und unverändert. Orion, der jetzt Winterbild ist, wird später Frühlings-, dann Sommer-, dann Herbststernbild.

Bewegung gehen die Sterne im Tageslauf ostwestlich auf und nieder. Die Erdachse selbst läuft als Kreiselachse ostwestlich, allerdings erst in 26 000 Jahren einmal um. Das himmlische Spiegelbild dieser Bewegung ist die Präzessionsbewegung der Sterne in westöstlicher Richtung relativ zum Gradnetz des Kolurhimmels. Daß die Umlaufszeit nach Äonen zählt, darf uns nicht wundern, denn auch beim gewöhnlichen Tischkreisel ist diese Präzessionsumlaufszeit unvergleichlich größer als dessen Rotationszeit.

(3) Präzession und Sternbilder. Im fünfteiligen großen Bild 119 steht in den fünf Figuren die Sonne in der Mitte. Die Stellung der Erde ist für ⟨Frühling⟩, ⟨Sommer⟩, ⟨Herbst⟩ und ⟨Winter⟩ gezeichnet. Die Sterne stehen während der ganzen Betrachtung alle still. Die Oriongegend ist besonders angedeutet. In der Ekliptikebene sind dann noch rechts die Zwillinge, hinten die Jungfrau, ganz links der Schütze und vorne die Fische vorzustellen. Dreht sich nun, unbeschadet der übrigen Anordnung, im Verlaufe eines Pla-

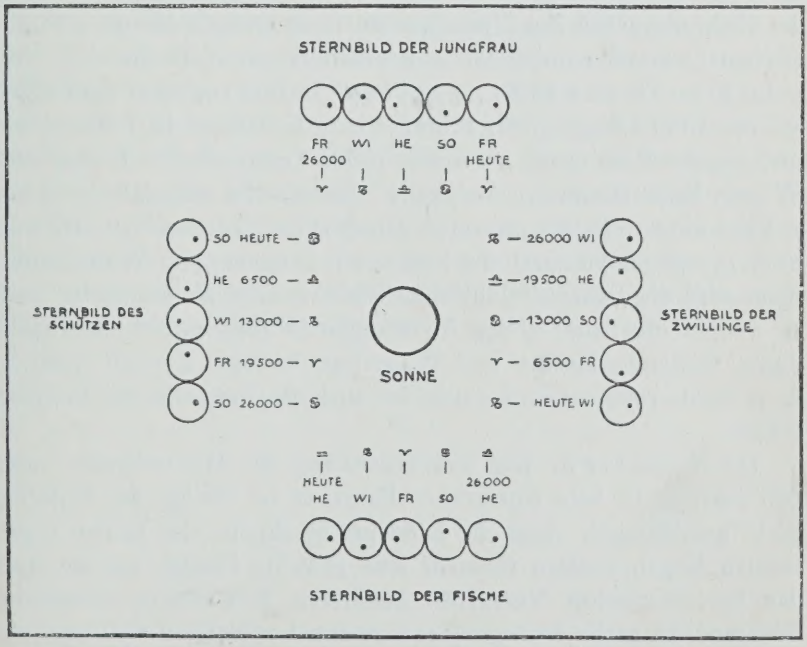


Bild 120. Änderungen der Sternbilder im Verlauf von 26 000 Jahren. Als eine Art „Draufsicht" eine Ergänzung zum perspektivischen Bild 119

tonischen Jahres die Erdachse um eine zur Ekliptikachse parallele Vertikale, dann ist, nach einem Platonischen Quartal von 6500 Jahren, jede Erdstellung um 90 Grad gedreht. Während in der Erdstellung links ursprünglich der Nordpol den Sonnenstrahlen am meisten ausgesetzt war, ist diese Sommerstellung nun hinten zu sehen. Nach 13 000 Jahren ist die Sommerstellung rechts im Bild, nach 19 500 Jahren vorne und schließlich nach einem ganzen Platonischen Jahr, nach 26 000 Jahren, wieder links im Modell. — Denken wir an den unveränderlich am selben Ort weilenden Orion: Er ist heute typisches Winternachtsbild. Nach 6500 Jahren ist er das Wahrzeichen der Frühlingsnächte, nach 13 000 Jahren im Sommer, nach 19 500 Jahren am besten im Herbst um Mitternacht zu sehen, alles in Übereinstimmung mit dem früher im ersten Teil Gesagten. — Bild 120 gibt in schematischer Draufsicht — vom Ekliptikpol aus gesehen — eine Zusammenstellung der eben beschriebenen Verhältnisse. Hier sind für alle vier Hauptstellungen, im Schützen links im Bild, in den Fischen unten, in den Zwillingen rechts und in der Jungfrau oben jeweils in der Richtung gegen den Uhrzeiger die Erdstellungen für die 4 Platonischen Quartale unmittelbar nebeneinander versinnbildlicht.

(4) Dauer der Jahreszeiten. In Bild 104 steht das Perihel bei 100 Grad Länge. Jetzt führen wir in Gedanken die Präzessionsdrehung der Erde durch — wieder rechts Orion sehend. Herbst und Winter, beide zusammen als „kalte" Jahreshälfte aufgefaßt, sind um 7 Tage kürzer, als die „warme" Jahreshälfte. Vertauschen sich nun nach 13 000 Jahren durch die Präzession Sommer- und Winterpunkt, dann wird die „warme" Jahreshälfte kürzer sein, als die „kalte" und es werden überhaupt stetig Änderungen in der Statistik der Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Wintertage bedingt. Freilich wandert, da ja nichts vollkommen konstant ist, auch das Perihel in der Erdbahn weiter.

(5) Nutation. Der Präzessionsweg des Himmelspoles unter den Sternen ist kein eigentlicher Kreis, er ist infolge der Nutation leicht geschlängelt. Auch die Erdachse beschreibt also keinen regelrechten Kegel, sondern vielmehr eine gewellte Fläche, wie sie etwa den bei chemischen Versuchen benützten Faltenfiltern entspricht. Während die grobe Bewegung mit zweimal 23½ Grad Öffnung, wie wir schon früher erwähnten, durch gemeinsamen Einfluß von Mond und Sonne hervorgerufen wird, verursacht die kleinen nur bis zu

9 Bogensekunden ausschlagenden Kräuselbewegungen der Umstand, daß die Mondbahn nicht in der Ekliptik gelegen ist, sondern mit dieser den Winkel von 5 Grad einschließt. Die Periode dieser kleinen Wellen ist identisch mit den 18,6 Jahren, die ein einmaliger Rücklauf der Knoten benötigt.

(6) Andere Schwankungen. Die Entfernungen Erde-Sonne und, wie wir später sehen werden, auch Erde-Mond, sind Veränderungen unterworfen. Erstere verändert sich periodisch im Verlaufe eines Jahres, letztere im Verlaufe eines Mondumlaufs. Die dadurch bedingte größere oder kleinere gegenseitige Anziehungswirkung verursacht infolgedessen an der schon durch die Nutation veränderten Präzessionsbewegung zunächst noch zweierlei allerdings fast unmerkliche Veränderungen. Es handelt sich hier fast ausnahmslos um Beträge weit unter einer Bogensekunde. Schließlich wollen außer Sonne und Mond noch andere Himmelskörper — wir können hier schon verraten, daß es die Planeten sind — zu ihrem Rechte kommen und suchen des weiteren die Erdachse direkt oder indirekt zu beeinflussen. — Sie alle verändern dadurch die Lage der Sterne relativ zu den Koluren, relativ zum Frühlingspunkt, oder verändern, was dasselbe ist, die Lage des Frühlingspunktes relativ zu den fixen Sternen, wie es Bild 58 veranschaulichen wollte. — Es üben Einfluß also auf die Stellung der Erdachse: 1. Die Sonne, als Massenreifen vorgestellt, 2. der Mond, als Massenreifen vorgestellt, 3. die Veränderung der Entfernung Erde-Sonne, 4. die Veränderung der Entfernung Erde-Mond, 5. die Planeten. Es sind dies wohl die wichtigsten „Störungen", die unser Erdenkreisel erfährt, die eben durch ihr gleichzeitiges Zusammenwirken alle „Konstanten" ändern.

NEUNTER ABSCHNITT
ERDKÖRPER

Wissenschaft von der Erde / Erdquerschnitt / Polhöhenschwankung / Erddrehung / Begleiterscheinungen / Zeitmessung / Ebbe und Flut / Atmosphäre / Dämmerung / Astronomische Refraktion / Gestalt des Himmelsgewölbes

(1) Wissenschaft von der Erde. Die Beschreibung der von Pflanzen, Tieren und Menschen bewohnten Erdoberfläche sowie die der Wasser- und Lufthülle ist in diesen Abschnitt nicht aufgenommen worden. Es scheiden im ganzen Buch all die weitausblickenden, selbständigen Wissenschaften aus, die sich mit diesen sowie mit geophysikalischen und verwandten Themen befassen, auch wenn sich aus ihnen Rückschlüsse auf die Natur des Erdganzen ergeben, wie: Geographie im weitesten Sinn, Geologie, Petrographie, Mineralogie und Biologie, die Geodynamik, mit ihr auch Erdbeben-, Vulkan- und Gezeitenkunde, die Klimatologie, Meteorologie, Erdmagnetik und Erdelektrik, meteorologische Optik, einschließlich der Optik der Dämmerungserscheinungen sowie der nächtlichen Leuchtstreifen des Firmamentes und der Helligkeitsschwankungen des Nachthimmels. Auch die Geodäsie als solche fällt weg. Aus der Geophysik nehmen wir nur soviel heraus, daß der Erdball später zu beschreibenden anderen Weltkörpern gegenüber hinsichtlich gleichmäßiger Behandlung nicht von vornherein allzu benachteiligt erscheint.

(2) Erdquerschnitt. Bild 121 gibt einen schematischen Querschnitt durch den Erdkörper. Die folgenden Zahlenangaben sind durchaus hypothetisch. Der heiße Erdkern — wir denken an eine Temperatur von vielen tausend Grad Celsius — hat einen Durchmesser von 6940 Kilometern. Ihn umgibt eine 1700 Kilometer dicke Zwischenschicht, auf der der 1200 Kilometer dicke „Mantel" aufsitzt, dessen äußerste, 50 Kilometer starke Schicht die eigentliche Erdkruste bedeutet. Der Kern besteht, wie man annimmt, aus Nickeleisen, das 90 Prozent reines Eisen enthält. Die oberen Schichten weisen ent-

weder eine Sial- oder eine Simazusammensetzung auf. Bei der ersten Art bedeutet der Name Si-Al ein Vorherrschen von Silizium und Aluminium, bei der zweiten Si-Ma ein Überwiegen von Silizium und Magnesium. Eine Sialschichte bildet auch die Kontinente. Sie hat das spezifische Gewicht 2,8, während das des ganzen Erdkörpers zu 5,5 angenommen werden kann. Die Dichte nimmt gegen die Mitte hin

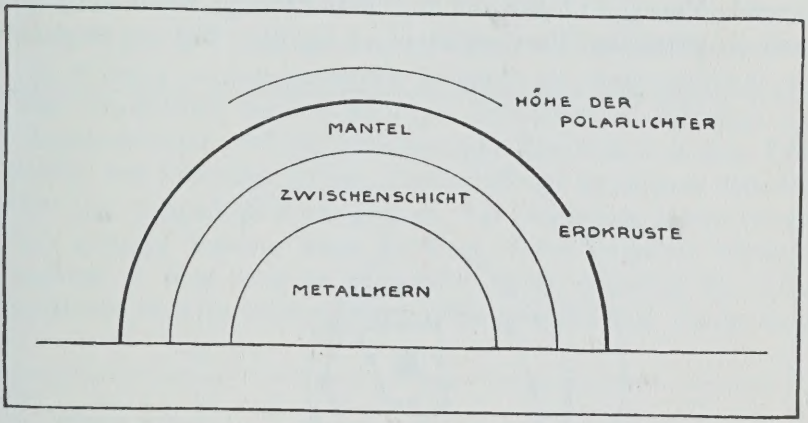


Bild 121. Hypothetischer Querschnitt durch die Erde

zu, beim Übergang von der Zwischenschicht zum Kern sprunghaft. Man hat dies aus Wegdauer und Weg reflektierter Erdbebenwellen ermitteln können. Die auf dem Innersten lastenden schweren Schichten ergeben in der Erdmitte einen Druck, der zu drei Millionen Kilogramm je Quadratzentimeter berechnet wurde. Trotz der verschiedenen Belastung durch Gebirge und Meere herrscht in einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche, etwa von 100 Kilometern an, gleicher Druck. Diese sogenannte Isostasie wird dadurch hervorgerufen, daß unter verhältnismäßig schweren Massiven relativ lockere Schichten ruhen und so ein Massenausgleich besteht.

(3) Polhöhenschwankung. Selbst wenn die Erde ein absolut starrer Kreisel wäre, müßte die Rotationsachse der Erde, wie sich theoretisch zeigen läßt, nicht immer durch dieselben Punkte der Erdoberfläche gehen, d. h. es müßten die Stationen der Erde nicht ständig dieselbe geographische Breite oder Polhöhe haben. Nun ist die Erde durchaus nicht absolut starr und es ist denkbar, daß sich um eine Art „innere Kugel" die äußeren Erdschichten durch

Einflüsse von außen verlagern, wobei auch schon die meteorologisch bedingten Massentransporte beim Wechsel der Jahreszeiten eine Rolle spielen werden. So müssen Schwankungen der Polhöhe eintreten, etwa derart, daß, wenn z. B. für eine Station der nördlichen Halbkugel die Polhöhe zunimmt, sie auf dem gegenüberliegenden Meridian, auf einer Station desselben Parallelkreises um denselben Betrag abnimmt. Messungen haben nun tatsächlich derartige Polschwankungen und die genannten Übereinstimmungen ergeben. Bild 122 zeigt, wie

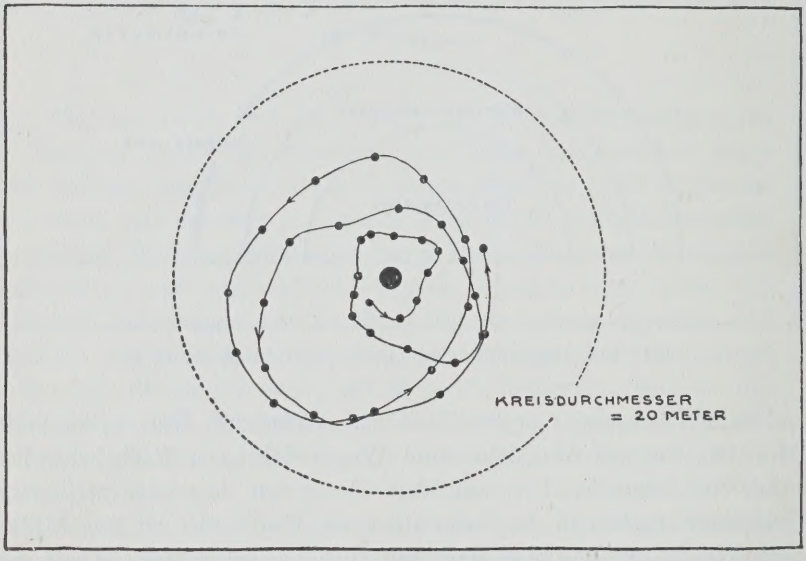


Bild 122. Polschwankung von 1900 bis 1904. Der Nordpol ist kein fixer Punkt der Erdkruste. Er wandert auf dieser herum, innerhalb eines Kreises von 20 Metern Durchmesser.

sich im Verlauf von vier Jahren der wirkliche Nordpol der Erde bewegte, und zwar im Vergleich mit einem idealen oder mittleren, der einer absolut starren Erde entsprechen würde. Es besteht eine 365- und eine 433tägige Periode. Die Verlagerung vom mittleren Pol weg beträgt auf der Erdoberfläche nach dem Bild weniger als 10 Meter. Die gestrichelte Linie gibt etwa die Grenzen der bisher überhaupt beobachteten äußersten Schwankungen wieder. Am Himmel bedeutet eine Schwankung von 10 irdischen Metern nur $^1/_3$ Bogensekunde. Wir bemerken hier noch, daß die eigentliche geometrische

Figurenachse des Erdkörpers mit dessen Rotationsachse der Rechnung gemäß nicht genau übereinstimmt.

(4) Erddrehung. Rein geometrisch besteht unter den Rotationsarten kein Unterschied. Wenn ich den mit einer Firmenmarke versehenen Bleistift zwischen den flachen Händen quirle, dann läuft der Mond soundso vielmal um die Marke relativ zum Bleistiftkörper, im Grunde genommen nicht anders, als wenn er langsam im Verlaufe eines Tages für Europa auf- und untergeht. Es kann rein geometrisch alle Rotation ohne die geringsten Bedenken als relativ aufgefaßt werden. Physikalisch fordern derartige Betrachtungen allerdings zum Nachdenken auf. Bei der Rotation eines Karussells entstehen Fliehkräfte, und Fliehkräfte hatten offenbar bei der Erdbildung dem Erdball eine abgeplattete Form gegeben. Die Abplattung würde vermutlich geringer werden, wenn die Erde einmal aufhören würde zu rotieren. — Man kann die Fliehkräfte, die bei derartigen Rotationen entstehen, als Trägheitserscheinungen deuten (Bild 123). Bei der Bahn-

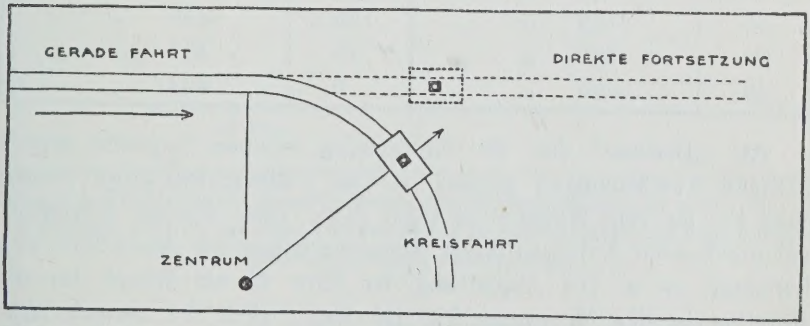


Bild 123. Fliehkraft ist eine relative Größe. Die Schienenkrümmung nimmt einen „angeschnallten" Fahrgast im Kreis mit. Ein „nichtangeschnallter" eilt — die Erdanziehnng weggedacht — geradlinig weiter, ohne von einer „Kraft" etwas zu spüren.

krümmung fliegt bei aufgehoben gedachter Erdschwere ein nicht festgeschnallter Fahrgast geradlinig nach dem Gesetz der Beharrung oder Trägheit weiter. Er würde voraussichtlich dieses Gesetz das der Selbstverständlichkeit nennen. Für den festgeschnallten Beobachter ist der erste Fahrgast Opfer einer „Fliehkraft" geworden. Also auch Kräfte sind relativ. Die die Erde umgebende kosmische Welt mit ihren Massen verlangt geradlinige Fortsetzung der auf der Erde ent-

standenen Geschwindigkeiten und die Zustände sind dieselben, ob nun die Weltmassen ruhen und die Erde sich dreht, oder ob die Erde ruht und die Weltmassen von der Erde weggerichtete Bewegungen erzeugen. Trotz dieser zweifachen Erklärungsmöglichkeiten aller Fliehkräfte spielt die Bezugnahme auf die große Umgebung als auf ein ruhendes System eine überragende Rolle.

(5) Begleiterscheinungen. Die einzelnen Erdorte haben in ihrem täglichen Umlauf um die Erdachse eine um so größere Kilometergeschwindigkeit, je weiter sie von den Polen abstehen. Hier ist die Geschwindigkeit Null, am Äquator ein Höchstwert. Für die einzelnen geographischen Breiten ergibt sich folgende Übersicht der Sekundengeschwindigkeiten relativ zu den Sternen:

Breite	Sekundengeschwindigkeit	Breite	Sekundengeschwindigkeit
90	0 Meter	40	355 Meter
80	81 „	30	402 „
70	159 „	20	436 „
60	232 „	10	457 „
50	298 „	0	464 „

Als „Beweise“ für die Erddrehung können folgende physikalische Erscheinungen gelten: 1. Die Fallbeschleunigung nimmt vom Pol bis zum Äquator ab (Bild 112). Über den der Fliehkraft entsprechenden Anteil an dieser Abnahme haben wir schon Seite 213 berichtet. — 2. Die Abplattung der Erde ist ein Beweis für die Rotation in der Vergangenheit der Erde, vielleicht auch in Anbetracht der Elastizität der Erde ein solcher für ihre gegenwärtige Drehung. — 3. Ein am Nordpol schwingendes Pendel, dessen Ebene z. B. zum fernen Stern Benetnasch zeigt, behält diese Ebene im Verlaufe eines Sterntages nach dem Trägheitsgesetz bei. Es muß also im Verlaufe eines Tages so schwingen, daß sich seine Schwingungsrichtung wie der Zeiger einer auf den Boden gelegten Uhr bewegt. Am Äquator findet keine derartige Drehung der Schwingungsebene statt. Ein von Nord nach Süd schwingendes Pendel z. B. schwingt dauernd so. Für Orte zwischen Pol und Äquator kann die Gradanzahl, um die sich die Schwingungsebene eines solchen sogenannten Foucaultschen Pendels relativ zum Erdboden dreht, durch

die Länge eines vom Beobachtungsort auf die Äquatorebene gefällten Lotes ermittelt werden. Ist dieses wie in Bild 124 halb so lang wie der Erdhalbmesser, so dreht sich die Pendelebene um 180 Grad, die Hälfte von 360 Grad. Ist das Äquatorlot zwei Drittel des Erdhalbmessers, dann dreht sich die genannte Schwingungsebene im Verlauf von 24 Stunden um 240 Grad, zwei Drittel von 360, auf der Nordhalbkugel jedesmal im Sinne des Uhrzeigers. Auf der Südhalbkugel erfolgt die Bewegung in entgegengesetzter Richtung. — Ähnlich wie die Richtung der Pendelebene infolge der Trägheit erhalten bleibt, zeigt auch die Achse eines schweren Kreisels Trägheit derart vollkommen,

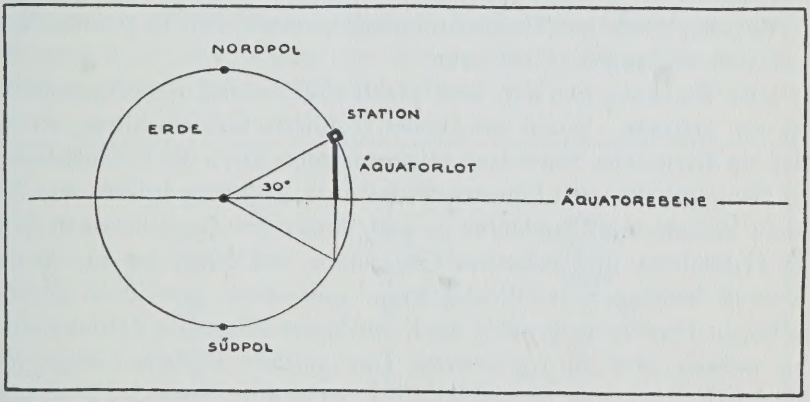


Bild 124. Foucaultscher Pendelversuch. Die Schwingungsebene dreht sich in 24 Stunden um den sovielten Teil von 360 Grad, als die Länge des Äquatorlotes im Erdhalbmesser enthalten ist.

daß man ihn in der Form des Kreiselkompasses als Richtungsweiser benützt. — 4. Im Stahlgerüst eines im Bau befindlichen Turmhauses hat ein Stein im 100. Stockwerk in 24 Stunden in der Richtung des Parallels von West nach Ost einen längeren Weg um die Erdachse zu beschreiben, als das Kellergeschoß. Beim Fallen behält der Stein die größere westöstliche Geschwindigkeit nach dem Trägheitsgesetz bei und trifft infolgedessen etwas östlich auf dem Boden auf, nicht genau im Lot der im 100. Stock befindlichen Ausgangsstelle. Versuche haben derartige Überlegungen bestätigt. — 5. Auf der nördlichen Halbkugel werden von Norden kommende Winde nach rechts abgelenkt, denn sie bringen die ihnen gleichsam angeborene relativ kleine westöstliche Bewegung ihres Ursprungsortes in die Gegend mit, die

sich rascher um die Erdachse bewegt, als der Ursprungsort. Die Luftmassen können infolge dieser Art ihrer Trägheit gleichsam „nicht mit" und bleiben — wir haben jetzt immer die Richtung der Parallelkreise im Auge — zurück, werden rechts abgelenkt. Eine Rechtsablenkung erfolgt auch bei Winden, die von Süden her oder aus einer beliebigen anderen Richtung kommen. Auf der Südhalbkugel findet Linksablenkung statt. Auch bei Zyklonen und Antizyklonen bedingt eine derartige Ablenkung deren Struktur. — Rechts- und Linksablenkungen sind nichts anderes als Trägheitserscheinungen. Man hat sie auch bei rasch fahrenden Eisenbahnzügen an der stärkeren Beanspruchung einer der beiden Schienen, bei Flußläufen an deren allmählicher Verlegung, auch an Meeresströmungen, sowie bei fliegenden Geschossen nachzuweisen versucht.

(6) Zeitmessung. Das praktische Zeitmaß der Astronomie ist der Sterntag. Durch ein Pendel regulierte Gewichtsuhren, sei es daß sie Stern- oder Sonnenzeit zeigen, werden durch die Erdanziehung in Gang gehalten, sie könnten also ebenso Erduhren heißen, wie die alten Wasser- und Sanduhren es sind. Außer den Gewichtsuhren gibt es Federuhren, und außerdem Quarzuhren, bei denen der aus einem Kristall herausgeholte Wechselstrom mit seiner fast ideal gleichmäßigen Periode ausgenützt wird, um kleine konstante Zeitintervalle zu messen oder zu registrieren. Der mittlere tägliche Gangfehler solcher Kristalluhren liegt unter einer tausendstel Sekunde. Trotzdem ist es nicht möglich, Abweichungen der regelmäßigen Rotation der Erde mit irdischen Uhren direkt nachzuweisen. Doch war dieses indirekt möglich, indem man Schwankungen, die sich aus der durch lange Zeiträume gehenden Verfolgung der Planetenumlaufszeiten und der Bewegung der Sonne und des Mondes und anderer kosmischer Beobachtungen ergaben, dadurch erklären konnte, daß unser irdisches Zeitmaß, der Sterntag, veränderlich ist. Er wird immer länger. Die Erde rotiert, wenigstens gegenwärtig, immer langsamer. Seit dem Jahre 1700 dürften sich die Fehler insgesamt bis zu 50 Sekunden derart aufgehäuft haben, daß unsere Uhren um soviel zu wenig zeigen. So wie ein sich drehender Eisläufer langsamer oder rascher rotiert, je nachdem er seine Arme ausstreckt oder zusammenzieht, ändert sich die Rotationsgeschwindigkeit der Erde bei Massenverlagerungen auf ihrer Oberfläche. Wahrscheinlich haben aber auch innere Reibungsänderungen beim Hinweggleiten oberer Erdschichten über tiefergelegene

Anteil an der Veränderung der Länge eines Sterntages. Man hat versucht, Rotationsänderungen durch Annahme eines Zusammenschrumpfens entweder der ganzen Erde oder wenigstens des äußeren Erdmantels oder durch Annahme einer Pulsation zahlenmäßig zu erklären. Eine Ursache der Verlangsamung der Erdrotation dürfte zum Teil auch die Flutreibung zwischen Wasser und der vielgestaltigen festen Oberfläche der Erde sein. Wenn die sogenannte Kontinentalverschiebung außer einer Westdrift auch Pendelbewegungen ausführt, dann ist ein Schwanken der Rotationsdauer der Erde erst recht möglich.

(7) Ebbe und Flut. Die Anziehung, die der Mond und — wenn auch in viel geringerem Maße — die Sonne auf den festen Erdkörper und auf das Wasser der Erde ausüben, verursacht die Erscheinung der Gezeiten, Ebbe und Flut. Bild 125 zeigt im ersten

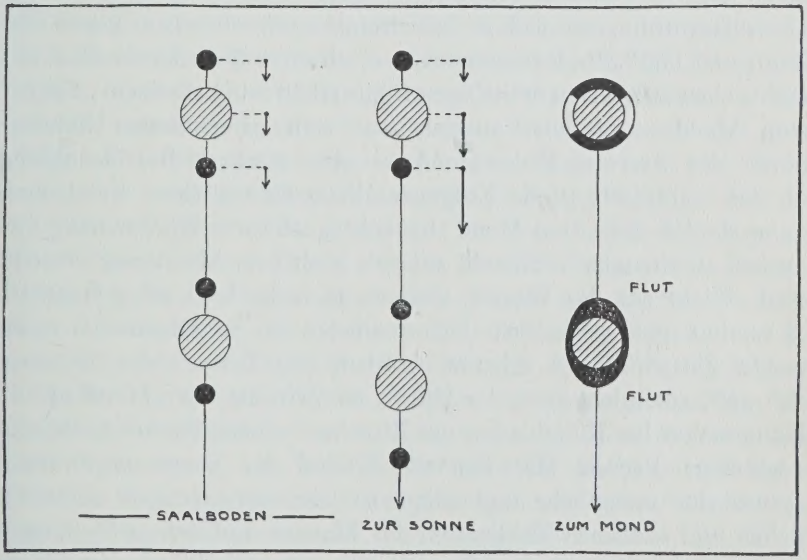


Bild 125. Flutproblem. 1) drei Kugeln im Saal, 2) drei Körper im Weltraum, 3) feste Erde und Wasserhülle schematisch als aus drei Körpern bestehend gedacht.

Feld drei Kugeln, eine große und zwei kleine, die zum Boden fallen. Den Luftwiderstand weggedacht, fallen sie gleich rasch. Es ist kein Grund vorhanden, daß sie ihre gegenseitige Lage zueinander ver-

ändern. Im zweiten Feld stellen die drei Kugeln Weltkörper irgend welcher Art dar, die zur Sonne „fallen". Die Sonne ist tief unten im Bild vorzustellen. Der der Sonne nächste Körper wird von ihr am stärksten beschleunigt, der große Körper erhält eine mittlere, der obere eine etwas kleinere Beschleunigung. Die erzeugten Beschleunigungen sind durch Pfeile angegeben. Da der untere Körper eine größere Beschleunigung hat, als der mittlere und dieser wieder eine größere als der obere, rücken alle drei Körper, während sie der Sonne zustreben, auseinander. Im dritten Feld soll statt der Sonne der Mond tief unten vorgestellt werden. Im Schema der Erde haben wir gleichsam drei Massen vor uns, als mittlere den festen Erdkörper, als untere die dem Mond zugekehrte und als obere die dem Mond abgekehrte Wassermasse der Meere. — Jeder um eine Masse umlaufende Körper besitzt (Bild 116) eine gegen die zentrale Masse gerichtete durch deren dauernd wirkende Kraft verursachte Beschleunigung gegen das Umlaufszentrum, so daß er gleichsam ununterbrochen gegen das Zentrum „fällt". — Der mondnähere schwarze Teil der in Bild 125 rechts oben skizzierten dreiteiligen Figur erhält nun bei seinem „Fallen" zum Mond — genauer ausgedrückt: zum gemeinsamen Schwerpunkt des Systems Erde-Mond — eine stärkere Beschleunigung als das schraffierte runde Erdganze, dieses eine stärkere Beschleunigung als der obere vom Mond abgekehrte schwarze Körper. Alle drei „gehen auseinander". Sowohl zum als auch vom Mond weg entsteht Flut. Nicht nur das Wasser, sondern auch die Luft zeigt Gezeiten, ja es sind sogar periodische Deformationen des Erdkörpers als regelrechte Flutwirkungen erkannt worden. Die Periode der Gezeiten, $12^h\ 25^m$, entspricht etwa der Hälfte der Zeit, die wir „Mondtag" — Kulmination bis Kulmination des Mondes — nannten. — Auch eine 12stündige Periode läßt sich als Einfluß der Sonne nachweisen, ebenso eine monatliche und halbmonatliche, entsprechend der nördlichen und südlichen Deklination des Mondes und dessen Stellungen in Erdnähe und Erdferne. Es sind dies nur einige Andeutungen zu dem Problem der Gezeiten, das für jeden Hafen durch die Kompliziertheit der Küstenverläufe ein anderes ist.

(8) Atmosphäre. Sternschnuppen sind kleine Körper fremder Welt, die in der Atmosphäre aufleuchten. Auf Grund der Höhenberechnungen bei besonders interessanten Einzelfällen kann man für die Höhe der Atmosphäre bis zu 600 Kilometer sicher annehmen.

Polarlichter leuchten bis zu 1000 Kilometern hinauf auf, während Wolken äußersten Falles nur knapp über 80, unbemannte Ballons etwa bis 40, bemannte bis ungefähr 20 Kilometer kamen. Die Zusammensetzung der Atmosphäre ändert sich mit der Entfernung von der Erdoberfläche. Unmittelbar über dieser besteht die Luft im wesentlichen, in Hundertteilen des Rauminhaltes ausgedrückt, aus 21 Teilen Sauerstoff und 79 Teilen Stickstoff. Von 100 Kilometern Höhe an überwiegt anscheinend Wasserstoff. Die elektrisch-magnetischen Zustände der Erde stehen in Zusammenhang mit denen der Sonne. Der irdische Eisenkern ist gleichsam ein Kugelmagnet, dessen Nordpol bei Neuseeland, dessen Südpol auf der Insel Boothia Felix, nördlich von Kanada liegt, immerhin noch 2000 Kilometer vom geographischen Nordpol entfernt. Zur Schilderung des die Erde umgebenden elektrischen Feldes legt man in Gedanken an die magnetische Erdachse einen diese in der Erdmitte berührenden Kreis von über einer halben Million Kilometern Durchmesser und läßt ihn um die magnetische Erdachse rotieren. Der dadurch entstandene torusförmige Raum spielt in den Hypothesen über die Bahnen der von der Sonne zur Erde eilenden negativen elektrischen Teilchen, der Elektronen, eine große Rolle. Sie eilen von der Sonne zur Erde, können aber nur in den nördlichen oder südlichen Spitzkrater, den der Torus an den magnetischen Polen freiläßt, gelangen. Den Torus selbst stellt man sich als elektronenfrei vor. Das Auftreffen der Elektronen auf die obersten Schichten der Atmosphäre erzeugt die Polarlichter, die aus demselben Grund leuchten wie das Neon in den Reklamebuchstaben der Geschäftsstraßen. — Die Atmosphäre dämpft das sie durchdringende Licht der Sterne um so mehr, je länger der durcheilte Luftweg, also je geringer die Höhe der beobachteten Sterne ist, dabei läßt sie je nach ihrer Vermengung mit fremden Partikeln die violetten und blauen Strahlen kaum, die roten und orangefarbigen oder gelben Strahlen gut durch. Dies bedingt die rote Verfärbung der Sonnen- und Mondscheibe, auch der Planeten und Sterne in Horizontnähe. — Die genannte Verminderung des scheinbaren Sternlichts durch die Atmosphäre nennt man Extinktion. Sie schwächt die Sternhelligkeit bei Höhen von 30 Grad um rund ¼, bei 20 Grad um ½, bei 10 Grad um 1, und bei 5 Grad Höhe um rund 1¾ Größenklassen. — Das Szintillieren oder Funkeln der Sterne besteht im wesentlichen aus dem Hin- und Hergebrochenwerden des unendlich dünnen, vom punkt-

förmigen Fixstern kommenden Lichtstrahles an den fortwährend sich verändernden dichteren oder dünneren, in allen Richtungen verlaufenden Schichten und Schlieren der Atmosphäre, wobei die Zerlegung des Lichtes in die Regenbogenfarben mitspielt. Bei Planeten tritt, da es sich hier nicht um einen zarten Lichtstrahl, sondern um ein ganzes der Ausdehnung der Planetenscheibe entsprechendes Lichtbündel handelt, der Effekt nicht oder weniger zum Vorschein. Es handelt sich hier um eine ausgleichende summarische Wirkung. — Die Sterne leuchten an und für sich bei Tag nicht anders als bei Nacht. Daß wir sie am hellen Himmel — bis auf seltene Ausnahmen — nicht sehen, ist dem Umstande zuzuschreiben, daß eben die Helle des Tageshimmels jeden Kontrast vernichtet.

(9) Dämmerung. Der Tageshimmel geht nicht sprungweise in den dunkeln Nachthimmel über. Es dämmert nach Sonnenuntergang und vor Aufgang der Sonne. Für die Grade der Dämmerung sind Grenzen und Zwischenstufen nur künstlich festzusetzen. Steht nach Sonnenuntergang die Sonne 6 Grad unter dem Horizont, dann endet die „bürgerliche" Dämmerung. Man kann von diesem Zeitpunkt an, so lautet die Regel, an einem gegen Westen gelegenen Fenster bei wolkenfreiem Himmel nicht mehr ohne künstliches Licht lesen. Ebenso gilt vor Sonnenaufgang der Stand 6 Grad unter dem Horizont als Beginn der bürgerlichen Morgendämmerung. Die „astronomische" Dämmerung hat Anfang und Ende bei 18 Grad Sonnenstand unter dem Horizont. Dann sind Sterne fünfter Größe schon oder noch sichtbar. Die Dämmerungen dauern um so länger, je größer

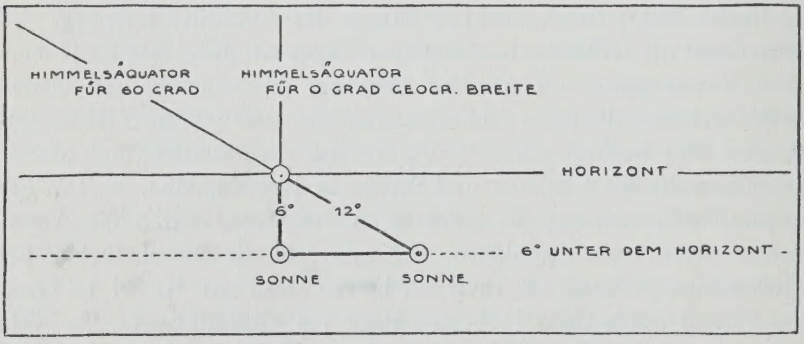


Bild 126. Dämmerung ist am Erdäquator halb so lang als bei 60 Grad Breite. Blick zum Westpunkt im ⟨Frühling⟩

die geographische Breite des Beobachtungsortes ist. Wir vergleichen beispielsweise die geographischen Breiten Null und 60 Grad nördlich. Bild 126 zeige den Westen am ersten Frühlingstag. Am Himmel des irdischen Äquators werden, da einem Grad vier Zeitminuten entsprechen, die 6 Grad vertikal in 24 Minuten zurückgelegt. Die bürgerliche Dämmerung währt 24 Minuten, geometrisch genau — ohne Berücksichtigung der Strahlenbrechung — von dem Augenblick an gerechnet, in dem die wahre Sonne wirklich im Horizont steht. Der entsprechende Weg für die geographische Breite 60 Grad ist nach unserem Bild doppelt so lang, denn in einem rechtwinkeligen Dreieck mit 60 Grad — es ist die Hälfte eines gleichseitigen Dreiecks — ist die Spannseite immer doppelt so lang als die kleine Kathete. Eine der Erdtafeln gibt für die verschiedenen Sonnendeklinationen und geographischen Breiten die Dauer der astronomischen Dämmerung. — Das Schema im Bild 127 soll zeigen, wie die Dämmerung mit der Beleuch-

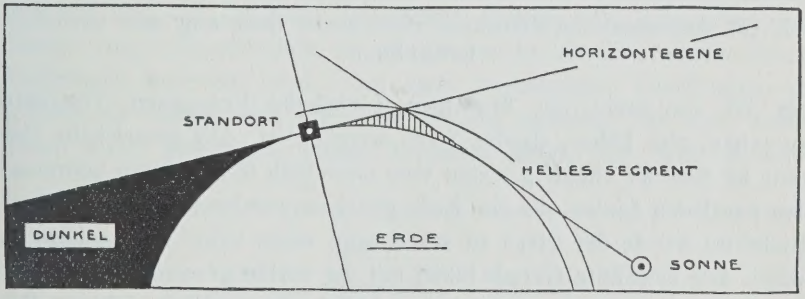


Bild 127. Eintritt der Nacht. Das „helle Segment" hat sich eben verabschiedet.

tung der irdischen Atmosphäre zusammenhängt. Der Ring um die Erde bedeutet die Lufthülle. Ihr sonnenbeschienener weißer Teil, der, solange er für den Beobachter noch teilweise über Horizont ist, Dämmerung schafft, ist für den eingezeichneten Standort eben verschwunden. Die schwarze Nacht ist im Begriff, von links nach rechts der Sonne folgend sich über den Beobachtungsort zu schieben. Dabei ist schematisch — aus Gründen besserer Übersichtlichkeit — nur jener Teil der Erdumgebung im Bild schwarz gefärbt, der unter dem Horizont des Standortes liegt.

(10) Astronomische Refraktion. Die durch die Atmosphäre verursachte Lichtbrechung verändert nicht nur die angeführten

Dämmerungszahlen, sondern spielt auch bei den Beobachtungen eine wichtige Rolle. Die Lichtstrahlen kommen im allgemeinen aus dünneren in dichtere Schichten und werden in der dichteren Schichte zum Lot gebrochen (Bild 128). Der Beobachter wähnt einen Stern in

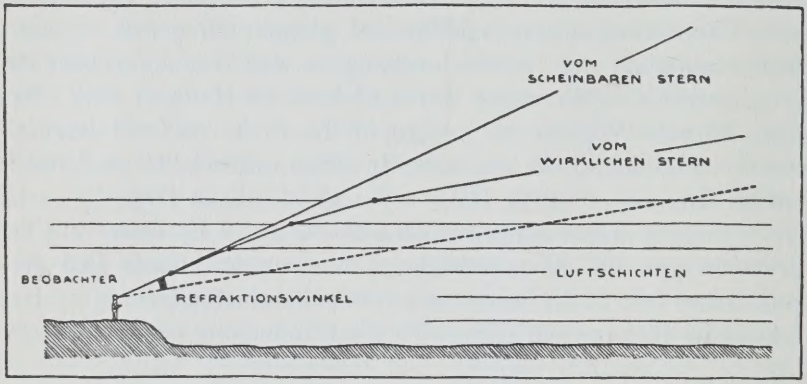


Bild 128. Astronomische Refraktion. Gestrichelte Linie zeigt zum unendlich fernen Stern.

der im Augpunkt der krummen Lichtbahn gezogenen Tangente zu sehen, also höher, als der Stern wirklich ist. Die gestrichelte Gerade ist eine der unzählig vielen vom unendlich fernen Stern kommenden parallelen Linien, die zur Erde gezogen werden können. In ihrer Richtung würde der Stern zu sehen sein, wenn keine Atmosphäre da wäre. Die erwähnte Gerade bildet mit der vorhin genannten Tangente den Winkel „vorgetäuschte minus wirkliche Sternhöhe". Dieser „Refraktionswinkel" hat für verschiedene Höhen folgende Durchschnittswerte:

Höhe	Refraktionswinkel	Höhe	Refraktionswinkel
90^0	0′ 00″	40^0	1′ 09″
80	0 10	30	1 40
70	0 21	20	2 37
60	0 33	10	5 16
50^0	0′ 48″	0^0	34′ 54″

Eine starke Änderung erfolgt in den horizontnahen Almukantaraten. Die astronomische Refraktion vergrößert nicht nur die Höhe eines jeden Sternes, sie verfrüht auch dessen Aufgang, auch den von

Sonne und Mond und läßt Untergänge zu spät erscheinen. Sie tritt allerorts als Quelle von Fehlern auf, die weggerechnet werden müssen, wenn die bisher und auch später angeführten geometrischen Beziehungen gelten sollen, die als „Idealfälle" geschildert wurden. — Große Refraktionswerte machen sich besonders bei der Beobachtung der auf- und untergehenden Sonne geltend. Diese erscheint in vertikaler Richtung zusammengerückt. Es werden all ihre Punkte gehoben, die tieferen aber stärker, als die höheren, infolgedessen ist der Höhenunterschied zwischen höchstem und tiefstem Punkt nicht 32 Bogenminuten, sondern nur 26, während der waagrechte Durchmesser unverändert bleibt.

(11) Gestalt des Himmelsgewölbes. Das Himmelsgewölbe, sei es das blaue oder bewölkte sowie das sternbesäte, erscheint unserem Anblick nicht halbkugelig, sondern im Zenit eingedrückt und gegen den Horizont zu sehr erweitert. Wir erleben unbewußt eine Urteilstäuschung, aber so unmittelbar und so stark, daß wir uns von ihr nicht freimachen können. — Wir halten zunächst lange Gegenstände für länger, wenn sie mit verschiedenen Merkmalen unterteilt sind. Von zwei gleichlangen Tuschlinien erscheint die länger, die mit Querstrichen versehen ist. Ein hoher Mast wirkt mächtiger, wenn Sprossen durch ihn zum Hinauf-

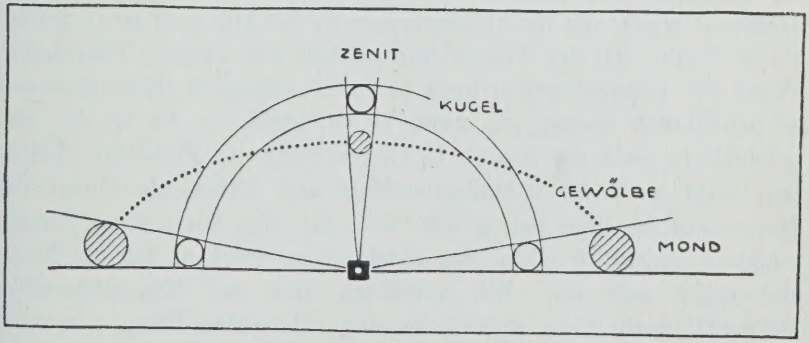


Bild 129. Mondvergrößerung am Horizont. Vorgetäuschtes Himmelsgewölbe punktiert. Weiß wirklicher, schraffiert vorgetäuschter Mond

klettern gesteckt sind, als ohne diese. Man bildet sich wohl ein, daß man selbst Schritt für Schritt nehmen müsse, um die Masthöhe zu erklimmen. Dazu ist — so urteilen wir unbewußt weiter — viel Arbeit,

viel Zeit nötig — also „ist der Mast besonders hoch". Hat er keinerlei abteilende Zutat, dann ist er mit einem einzigen Blick in seiner ganzen Länge durchfahren und erscheint wegen dieser Zeitlosigkeit, wenn man so sagen darf, weniger hoch. „Um zum aufgehenden Mond zu gelangen, müßten wir Häuser und Dächer und wieder Dächer überklettern, dann Wald und Berge." Der Mond erscheint in unserer unmittelbaren Einschätzung viel weiter, als dann, wenn er hoch steht, so daß man in Gedanken zu ihm auf einer Stange aus Nichts im Nu hinaufgleiten kann. Nicht nur Himmelsblau und Wolken und Sterne, auch die Mondscheibe scheint einem plattgedrückten Gewölbe anzugehören. In Bild 129 ist im zenitalen Querschnitt für die wirkliche Stellung des Mondes bei Auf- und Untergang und im Zenit ein halbkreisförmiger Streifen gleichsam als wirkliche Mondpromenade gezeichnet, während die flachere Kurve das bloß eingebildete Himmelsgewölbe darstellen soll. Sehen wir von kleinen Änderungen ab, die uns hier nicht interessieren, so mißt der Monddurchmesser immer einen halben Grad. Er muß also, über uns schwebend, aus dem halbkreisförmigen Bogen gleichsam näher zu uns gerückt werden, um im eingebildeten Gewölbe zu stehen. Dies ist nur möglich, wenn wir ihn — bei Beibehaltung des halben Grades, vielleicht im Unterbewußtsein — verkleinern. Ist er im Horizont, so schieben wir ihn von uns weg, aber so, daß er wieder seinen halben Grad beibehält. Er erscheint um so größer, je weiter wir ihn hinausprojizieren. Im Horizont ist er größer als im Zenit. Bei den Sternbildern erleben wie dieselbe Täuschung. Wenn der Himmelswagen hoch in der Zenitgegend steht, erscheint er beträchtlich kleiner, als wenn er tief steht. — Es ist der hier geschilderte nicht der einzige Lösungsversuch des Problems. Jedenfalls trägt auch der lichtabsorbierende und filtrierende Dunst des Horizontes das seine bei, in uns, weil wir eben durch diese Schicht hindurch undeutlich sehen, den Eindruck zu stärken, daß der Mond erst recht weit sei. Wir erweitern also das Himmelsgewölbe horizontal noch mehr, so daß die obige Urteilstäuschung erst recht wirksam wird. — Die Form des Himmelsgewölbes ist jedenfalls ein überaus kompliziertes Problem, bei dem auch physiologische Momente mitspielen. Der „große Mond" sollte nur irgend ein Beispiel sein. Das Problem ist übrigens durchaus noch nicht gelöst. Es gibt Deutungen, die von unserer Darstellung hier zum Teil vollständig abweichen. — Astronomisch wichtig ist die mit der angeführten Täuschung

über die Gestalt des Himmelsgewölbes unmittelbar Hand in Hand gehende Unzuverlässigkeit bei Höhenangaben ohne Instrument. Wirkliche Sternhöhen von 9, 23 und 47 Grad werden für Höhen von 22½, 45 und 67½ Grad gehalten, d. i. $^1/_4$, $^2/_4$, $^3/_4$ des Quadranten vom Horizont bis zum Zenit. — Es wäre diese Übertreibung dann kein zu großer Nachteil, wenn die angeführten Fehler — 150, 96 und 44 Prozent — konstant wären, was aber durchaus nicht der Fall ist.

ZEHNTER ABSCHNITT

ERDTAFELN

Sichtweitentafel / Tagbogentafel / Breitenüberschußtafel / Erdellipsoidtafel / Gravitationstafel I / Gravitationstafel II / Dämmerungstafel / Längster Tag-Tafel

Die acht Tafeln hier sind als Ergänzungen zu den einzelnen Abschnitten der „Astronomie des Erdballs" zu betrachten. Die Sichtweitentafel ergänzt das Kapitel Erdkugel im ersten Abschnitt, die Tagbogentafel den vierten Abschnitt. Die Breitenüberschußtafel zeigt den Unterschied zwischen geographischer und geozentrischer Breite und gehört zum sechsten Abschnitt, ebendorthin gehört auch die Ellipsoidtafel. Zwei weitere Zusammenstellungen, Gravitationstafel I und II, zeigen vor allem die Veränderung der Schwerkraft mit der geographischen Entfernung von den Polen und mit der Seehöhe. Die letzten zwei Tafeln geben Daten über „Dämmerung" und „Längsten Tag".

(1) SICHTWEITENTAFEL

Höhe in Metern	Sichtweite	Höhe in Metern	Sichtweite	Höhe in Metern	Sichtweite
10	12 km	100	38 km	1000	120 km
9	11 „	90	36 „	900	114 „
8	10 „	80	34 „	800	108 „
7	10 „	70	32 „	700	101 „
6	9 „	60	30 „	600	93 „
5	9 „	50	27 „	500	85 „
4	8 „	40	24 „	400	76 „
3	7 „	30	21 „	300	66 „
2	5 „	20	17 „	200	54 „
1	4 „	10	12 „	100	38 „
0	0 km	0	0 km	0	0 km

Die Refraktion vergrößert die Sichtweite um durchschnittlich 7 Prozent.

(2) TAGBOGENTAFEL

Halbe Tagbogen für die Deklinationen zwischen −24 und +24 Grad, also vor allem auch für die Sonne geltend. Die Gradzahlen der obersten Reihe bedeuten nördliche geographische Breiten.

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Deklination							
+ 24°	6h 00m	6h 18m	6h 37m	7h 00m	7h 28m	8h 08m	9h 22m
+ 20	6 00	6 15	6 30	6 49	7 11	7 43	8 36
+ 16	6 00	6 12	6 24	6 38	6 56	7 20	7 59
+ 12	6 00	6 09	6 18	6 28	6 41	6 59	7 26
+ 8	6 00	6 06	6 12	6 19	6 27	6 39	6 56
+ 4	6 00	6 03	6 06	6 09	6 13	6 19	6 28
0	6 00	6 00	6 00	6 00	6 00	6 00	6 00
− 4	6 00	5 57	5 54	5 51	5 47	5 41	5 32
− 8	6 00	5 54	5 48	5 41	5 33	5 21	5 04
− 12	6 00	5 51	5 42	5 32	5 19	5 01	4 34
− 16	6 00	5 48	5 36	5 22	5 04	4 40	4 01
− 20	6 00	5 45	5 30	5 11	4 49	4 17	3 24
− 24°	6h 00m	5h 42m	5h 23m	5h 00m	4h 32m	3h 52m	2h 38m

Die Refraktion ist nicht berücksichtigt.

(3) BREITENÜBERSCHUSS-TAFEL

Breitenüberschuß ist hier der Unterschied „geographische minus geozentrische Breite". Die für diesen Überschuß charakteristischen Abstände der Erdoberfläche von der Erdmitte sind unter „Erdhalbmesser" der Tafel beigefügt.

Geographische Breite	Geographische minus geozentrische Breite	Erd-Halbmesser
90°	0″ = 0′ 00″	6 356,1 km
85	120 = 2 00	6 356,2 „
80	237 = 3 57	6 356,7 „
75	346 = 5 46	6 357,5 „
70	445 = 7 25	6 358,6 „
65	530 = 8 50	6 359,9 „
60	599 = 9 59	6 361,4 „
55	650 = 10 50	6 363,1 „
50	681 = 11 21	6 364,9 „
45	691 = 11 31	6 366,8 „
40	680 = 11 20	6 368,6 „
35	648 = 10 48	6 370,4 „
30	597 = 9 57	6 372,1 „
25	528 = 8 48	6 373,6 „
20	443 = 7 23	6 374,9 „
15	344 = 5 44	6 376,0 „
10	235 = 3 55	6 376,8 „
5	120 = 2 00	6 377,2 „
0°	0″ = 0′ 00″	6 377,4 km

(4) ERDELLIPSOIDTAFEL

Sie gibt für die verschiedenen geographischen Breiten die Längen des Meridiangrades, der durch die betreffende geographische Breite halbiert wird, entsprechend auch die Länge der Bogenminuten und Bogensekunden im Meridian. Daneben stehen die Längen der im Parallel liegenden Grade, Bogenminuten und Bogensekunden.

Geographische Breite	Im Meridian			Im Parallel		
	Grad	Bogenminute	Bogensekunde	Grad	Bogenminute	Bogensekunde
90°	111,680 km	1861 m	31 m	0,000 km	0 m	0 m
85	111,671 „	1861 „	31 „	9,733 „	162 „	3 „
80	111,646 „	1861 „	31 „	19,391 „	323 „	5 „
75	111,605 „	1860 „	31 „	28,898 „	482 „	8 „
70	111,548 „	1859 „	31 „	38,182 „	636 „	11 „
65	111,479 „	1858 „	31 „	47,170 „	786 „	13 „
60	111,399 „	1857 „	31 „	55,793 „	930 „	15 „
55	111,311 „	1855 „	31 „	63,986 „	1066 „	18 „
50	111,216 „	1854 „	31 „	71,687 „	1195 „	20 „
45	111,119 „	1852 „	31 „	78,837 „	1314 „	22 „
40	111,023 „	1850 „	31 „	85,384 „	1423 „	24 „
35	110,929 „	1849 „	31 „	91,277 „	1521 „	25 „
30	110,841 „	1847 „	31 „	96,475 „	1608 „	27 „
25	110,762 „	1846 „	31 „	100,938 „	1682 „	28 „
20	110,693 „	1845 „	31 „	104,635 „	1744 „	29 „
15	110,638 „	1844 „	31 „	107,538 „	1792 „	30 „
10	110,597 „	1843 „	31 „	109,627 „	1827 „	30 „
5	110,572 „	1843 „	31 „	110,886 „	1848 „	31 „
0°	110,564 km	1843 m	31 m	111,307 km	1855 m	31 m

(5) GRAVITATIONSTAFEL I

Erdbeschleunigung im Meeresniveau und Länge des Sekundenpendels

Geogr. Breite	Sekundliche Schwere-beschleuni-gung	Länge des Sekunden-pendels	Geogr. Breite	Sekundliche Schwere-beschleuni-gung	Länge des Sekunden-pendels
90°	983,2 cm	99,62 cm	45°	980,6 cm	
85	983,1 „		40	980,2 „	99,31 cm
80	983,1 „	99,61 „	35	979,7 „	
75	982,9 „		30	979,3 „	99,23 „
70	982,6 „	99,56 „	25	979,0 „	
65	982,3 „		20	978,6 „	99,16 „
60	981,9 „	99,49 „	15	978,4 „	
55	981,5 „		10	978,2 „	99,12 „
50	981,1 „	99,40 cm	5	978,1 „	
45°	980,6 cm		0°	978,0 cm	99,04 cm

(6) GRAVITATIONSTAFEL II

Abnahme der Schwerebeschleunigung im Vergleich mit der in Meereshöhe gemessenen

Höhe in Metern	Abnahme der Beschleunigung	Höhe in Metern	Abnahme der Beschleunigung
100	0,031 cm	1000	0,309 cm
90	0,028 „	900	0,278 „
80	0,025 „	800	0,247 „
70	0,022 „	700	0,216 „
60	0,019 „	600	0,185 „
50	0,015 „	500	0,154 „
40	0,012 „	400	0,123 „
30	0,009 „	300	0,093 „
20	0,006 „	200	0,062 „
10	0,003 „	100	0,031 „
0	0,000 cm	0	0,000 cm

(7) DÄMMERUNGSTAFEL

Dauer der astronomischen Dämmerung für die verschiedenen geographischen Breiten (oberste Zahlenreihe). Links stehen die Sonnendeklinationen.

Deklination	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
+ 24°	1h 17m	1h 19m	1h 26m	1h 39m	2h 07m					
+ 20	1 14	1 17	1 22	1 33	1 55	2h 57m				
+ 16	1 13	1 15	1 20	1 29	1 47	2 26				
+ 12	1 11	1 13	1 18	1 26	1 41	2 10	4h 29m			
+ 8	1 11	1 12	1 16	1 24	1 37	2 01	3 00			
+ 4	1 10	1 11	1 15	1 22	1 34	1 55	2 39			
0	1 10	1 11	1 14	1 21	1 32	1 51	2 28	4h 12m		
− 4	1 10	1 11	1 14	1 21	1 31	1 50	2 23	3 40		
− 8	1 11	1 11	1 15	1 21	1 31	1 49	2 21	3 31		
− 12	1 11	1 12	1 15	1 22	1 32	1 50	2 23	3 34		
− 16	1 13	1 13	1 17	1 23	1 34	1 53	2 28	3 52		
− 20	1 14	1 15	1 18	1 25	1 36	1 57	2 37	4h 55m		
− 24°	1h 17m	1h 17m	1h 20m	1h 27m	1h 40m	2h 03m	2h 53m			

(8) LÄNGSTER TAG-TAFEL

Geograph. Breite	Längster Tag
90°	1/2 Jahr
85	161 Tage
80	133 „
75	103 „
70	65 „
65	22h 05m
60	18 39
55	17 03
50	16 09
45	15 25
40	14 51
35	14 21
30	13 56
25	13 33
20	13 13
15	12 53
10	12 35
5	12 17
0°	12h 00m

Längster Tag	Geograph. Breite
6 Monate	90°
5 „	84
4 „	80
3 „	74
2 „	70
1 Monat	67
24 Stunden	66° 33′
23 „	66 22
22 „	65 49
21 „	64 51
20 „	63 24
19 „	61 20
18 „	58 28
17 „	54 32
16 „	49 03
15 „	41 25
14 „	30 49
13 „	16 45
12 Stunden	0° 00′

DRITTER TEIL
Astronomie des Sonnensystems

ERSTER ABSCHNITT
PLANETENSYSTEM

Raumbahnen / Radlinien / Planetenbahnen als Radlinien / Planetendurchmesser / Kreisbahnen / Elliptische Bahnen / Bahnbestimmung / Plutobahn / Uranus und Neptun / Bahngesetze / Rechenbeispiele / Fallkreis / Geschwindigkeit und große Achse / Massenschwerpunkt / Einteilung der Planeten / Kleinplaneten / Schwarmlücken / Außergewöhnliche Bahnen

(1) Raumbahnen. Im sphärischen Abschnitt über die Planeten hatten wir u. a. mitgeteilt, daß Mars zu gewissen Zeiten besonders hell, dann wieder lichtschwächer ist und daß diese Helligkeitsveränderung mit seinen Hin- und Hergängen an der Himmelskugel im engsten Zusammenhang steht. Bei anderen Planeten ist es ähnlich. — Wir können Helligkeitsschwankungen, die sich im Fernrohr als Durchmesserschwankungen der Planetenscheiben herausstellen, dadurch erklären, daß die Himmelskörper uns periodisch einmal näher, dann einmal weiter sind. Und so können wir statt der bloß sphärischen Linien räumliche Bahnen zeichnen, bei denen zunächst noch immer wir, d. h. die Erde, in der Mitte des Ganzen stehen. Ist es uns gelungen, für die Planeten solche erdzentrische Raumbahnen zu ermitteln, dann kann, so wie wir es bei Behandlung von Erde und Sonne taten, aus dem erdzentrischen ein sonnenzentrisches Bild geschaffen werden und es können beide Darstellungen gleich berechtigt nebeneinander gestellt werden. Das Fernrohr läßt zum Teil Phasen an den Planeten erkennen, auch deutlich Rotationen, so daß an der kugeligen Gestalt der Planeten im allgemeinen nicht zu zweifeln ist.

(2) Radlinien. In der zeichnerischen Behandlung des Bahnproblems spielen die Epizykel oder Radlinien eine Rolle, die aus der Zusammensetzung zweier gleichmäßiger Bewegungen hervorgehen (Bild 130). Es rollt ein Rad entweder auf gerader Linie oder auf dem Umfang eines Kreises. Dabei beschreibt irgend ein Umfangspunkt des rollenden Rades oder ein in oder außerhalb seiner Scheibe liegender mit dem Rad starr verbundener Punkt regelrechte Umläufe um

die Radmitte. Dies ergibt dreierlei Linien: 1. Eine Spitzenlinie, wenn der zeichnende Punkt auf dem Radumfang liegt. Der Fall ereignet sich bei einem gewöhnlichen Wagenrad, an dessen Umlauf ein Stück Papier gleichsam als Zeichenstift klebt. In bezug auf den Wagen beschreibt das Papier einen Kreis, in bezug auf die Fahrstraße eine mit spitzen Umkehrpunkten versehene Radlinie. 2. Eine

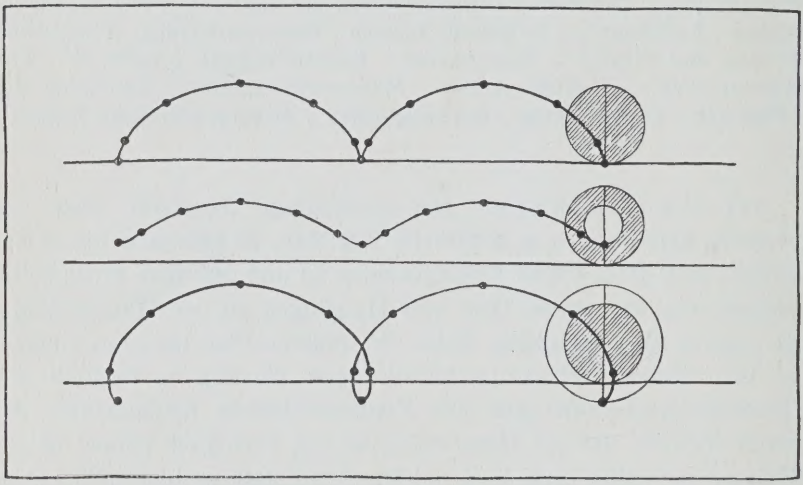


Bild 130. Radlinien. Das schraffierte Rad rollt auf der horizontalen Schiene. Es entsteht eine Spitzen-, Schlangen- und Schlingenlinie.

Schlangenlinie entsteht beim Wagenrad, wenn das Papierzeichen auf einer Speiche sitzt. 3. Eine Schlingenlinie entsteht gegebenenfalls beim Eisenbahnrad. Das Rad selbst rollt auf der Schiene, der mit ihm aus einem Stück bestehende Wulst, der sogenannte Spurkranz, beschreibt mit seinen äußeren Punkten Linien wie in unserer dritten Figur. Wir wollen übrigens Radlinien auch die nennen, bei denen das erzeugende Rad auf der angenommenen Unterlage in gleichmäßiger Art gleitet, statt zu rollen, oder bei denen das Rad sich gleichmäßig dreht, während seine Achse auf einer Linie, z. B. auf einem Kreis, sich gleichmäßig weiterbewegt.

(3) Planetenbahnen als Radlinien. Wir lassen einen erdachten Planeten außerhalb der Erdbahn in 36 Monaten zunächst im Kreis um die Sonne laufen (Bild 131). In die Zeichnung sind nur die

Stationen für 20 Monate eingetragen. Der synodische Umlauf dieses Planeten — etwa von Konjunktion zu Konjunktion — ergibt sich nach der Rechenregel im ersten Teil zu 18 Monaten. Die linke Figur zeigt das sonnenzentrische Bild des Planetenumlaufes. Hier sind die numerierten Erdstationen mit den Planetenstationen gleicher Nummer verbunden. Auf der Erdbahn fallen 12, 14, 16, 18, 20 mit 0, 2, 4, 6, 8 zusammen. Eine jede Zahl bedeutet entsprechende

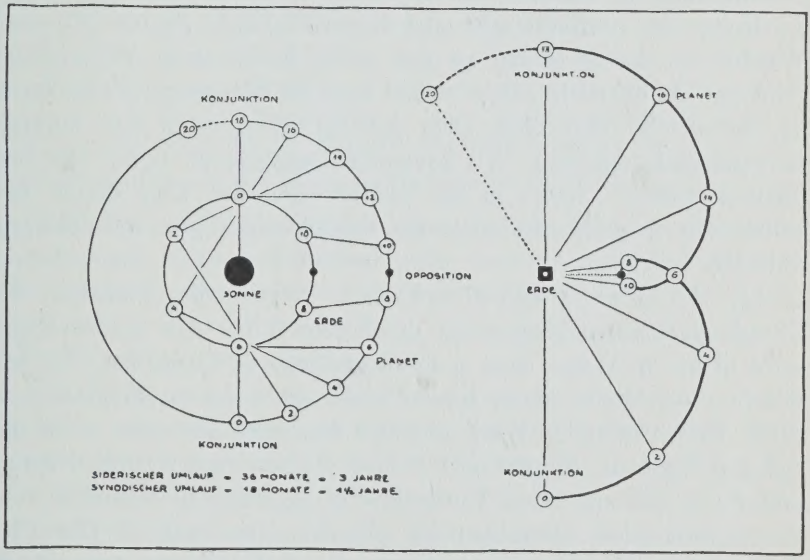


Bild 131. Planetenumlauf sonnenzentrisch und erdzentrisch. Im ersten Fall ein Kreis, im zweiten Fall eine epizyklische Linie

Monatsanfänge. Die Strecken Erde-Planet geben die Richtung des Planeten und dessen Entfernung von unserem Auge an. Man nennt derartige Strecken, die nicht nur eine bestimmte Länge haben, sondern auch eine bestimmte Richtung in einem gegebenen Koordinatennetz, Vektoren. — In der zweiten, erdzentrischen Figur ist die Erde in der Mitte. Von ihr aus tragen wir die eben erhaltenen Vektoren — also mit deren Längen auch deren besondere Richtungen — paarweise parallel zu denen in der ersten Figur, auf. — Verbinden wir jetzt die einzelnen Planetenstationen, so kommt als Ergebnis eine Radlinie heraus, den ein auf einem großen Kreis bewegter zweiter kleinerer Kreis, dem Fall 3 des vorigen Kapitels entsprechend, beschreibt. Der

eben genannte große Kreis heißt Deferent. Er ist so wie der kleine Hilfskreis, der Epizykel im engeren Sinn, in der Zeichnung weggelassen worden, um diese nicht zu überlasten. Beide Planetenbahnen, sowohl die kreisförmige links, als auch die epizyklische rechts, sind richtig, da die Bezugnahme aller Bewegungen auf ganz beliebige Bezugskörper erfolgen kann. In der ersten Figur ist dieser die Sonne, in der zweiten die Erde. Die rechte, erdzentrische, geozentrische, wird das Ptolemäische im weiteren Sinne, die linke, sonnenzentrische, heliozentrische, das Aristarchische oder Kopernikanische System genannt. Welche von diesen beiden an sich gleich berechtigten Veranschaulichungen die übersichtlichere ist und auch am bequemsten zu zeichnen ist, entscheidet sich ohne allen Zweifel zu gunsten der sonnenzentrischen Darstellung. Wir bevorzugen aus diesem Grund die Betrachtungsweise „Sonne in der Mitte", sind uns aber dessen bewußt, daß beiderlei Darstellungen gleichberechtigte Perspektiven bedeuten.

(4) Planetendurchmesser. Wenn die Planeten im Grunde genommen ebenso um die Sonne laufen wie unsere Erde, steht nichts im Wege, diese auch einen Planeten zu nennen. Sie, sowie Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn, der im Fernrohr von einem freischwebenden Ring umgeben erscheint, sind aber nicht die einzigen Planeten. Es gibt noch lichtschwächere, wie Uranus, Neptun und Pluto und außerdem Tausende von sogenannten Kleinplaneten, Planetoiden oder Asteroiden im „Planetoidenschwarm". Die Planeten werden von der Sonne beschienen und leuchten demnach in reflektiertem Sonnenlicht. Sie haben im großen und ganzen, von den kleinsten Kleinplaneten abgesehen, Kugelgestalt. Aus den meßbaren Winkeldurchmessern und den nach den später behandelten Planetengesetzen ermittelten Entfernungen ist es mit Hilfe unseres Satzes vom schmalen Dreieck möglich, die tatsächlichen Durchmesser der Planeten im Kilometermaß festzustellen. — Wir geben hier, indem wir auf die ausführlichen „Planetentafeln" verweisen, eine Übersicht über diese Durchmesser, neben deren Zahlen wir in Klammer die entsprechende Verjüngung im Maßstab 1 : 1 000 000 000 schreiben, den wir, weil er sich für das Planetenreich gut bewährt, den planetaren nennen wollen. Sonne und Mond sind zum Vergleich ebenfalls herangezogen.

	Durchmesser	im planetaren Maßstab
Sonne	1 390 000 Kilometer	(1,39 Meter)
Merkur	5 000 Kilometer	(5 Millimeter)
Venus	12 000 „	(12 „)
Erde	13 000 „	(13 „)
Mars	7 000 „	(7 „)
Jupiter	143 000 „	(143 „)
Saturn	121 000 „	(121 „)
Uranus	50 000 „	(50 „)
Neptun	53 000 „	(53 „)
Pluto	5 000 (?) „	(5 (?) „)
Mond	3 500 Kilometer	(3,5 Millimeter)

Wir fügen zur Tabelle noch hinzu, daß der Ring des Saturn im Durchmesser 280 000 Kilometer mißt, was im planetaren Maßstab 28 Zentimetern entspricht. — Die Planeten besitzen zum Teil Monde, von denen sie umkreist werden, Mars deren zwei, Jupiter neun, Saturn zehn, Uranus vier und Neptun einen.

(5) Kreisbahnen. Die Planetenbahnen verraten uns durch die Länge ihres Umlaufes und durch die Art ihrer rascheren oder langsameren Winkelgeschwindigkeit ihre Entfernungen von der Sonne. Bevor wir diesen Zusammenhang zeigen, nehmen wir an, daß es möglich gewesen sei, trigonometrisch alle Entfernungen von der Erde und damit auch von der Sonne zu ermitteln. Letztere Umrechnung ist dann z. B. besonders einfach, wenn der Planet in Opposition zur Sonne steht, weil dann seine Entfernung von der Sonne gleich ist der von der Erde plus der Entfernung Sonne-Erde. — Wir geben die Planetenentfernungen auf dreierlei Art hier wieder, in astronomischen Einheiten, d. h. Abständen „Erde-Sonne", dann in Kilometern und drittens, in Klammer, im Milliardstelmaßstab. In ihm wird 1 Million Kilometer der Wirklichkeit zu 1 Meter. Die Kleinplaneten lassen wir vorläufig weg. Im übrigen verweisen wir auf Bild 132, das die Bahnen bis zu der Jupiters, und Bildtafel XXXI, das die außerhalb der Jupiterbahn gelegenen Planetenbahnen zeigt. Die genannte Bildtafel soll anregen, die Bahnen zur Veranschaulichung ihrer Größenverhältnisse in einen beliebigen Stadtplan oder in eine Landkarte einzuzeichnen. Es muß nur jeder kosmischen Strecke von 1000 Millionen Kilo-

metern ein „Kilometer im Plan“ entsprechen, dessen Länge der jedem Plan und jeder Landkarte beigefügte „Maßstab“ angibt. — Über die sonderbar gelagerte Plutobahn gibt das achte Kapitel Auskunft.

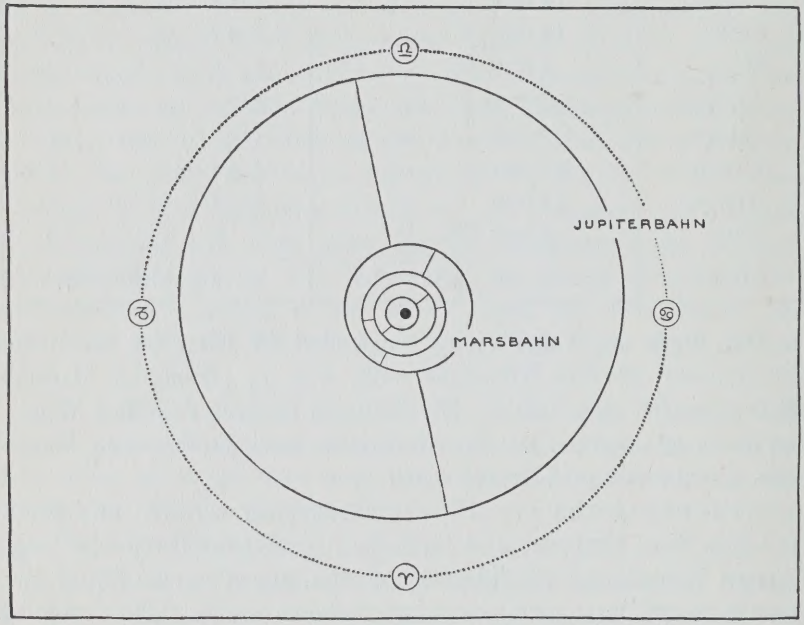


Bild 132. Planetensystem: Sonne, Merkurbahn (stark exzentrisch), Venus-, Erd-, Mars- und Jupiterbahn. Die radialen Linien deuten die Stellung der Längsachsen der Bahnen an.

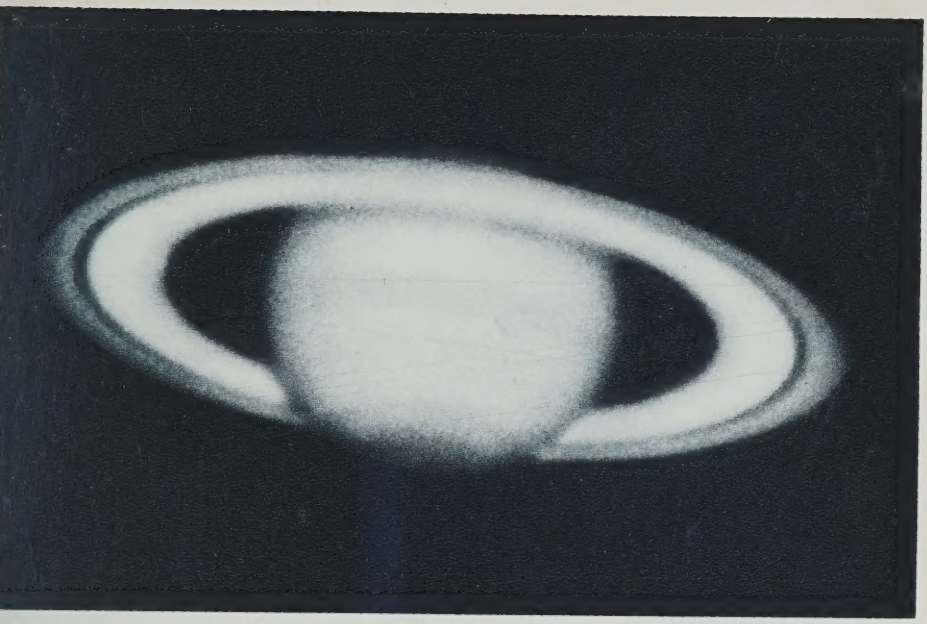
Nr.	Planet	Astronomische Einheiten	Kilometer	im planetaren Maßstab
1	Merkur	0,4	58 Millionen	(58 Meter)
2	Venus	0,7	108 „	(108 „)
3	Erde	1,0	149 „	(149 „)
4	Mars	1,5	228 „	(228 „)
5	Jupiter	5,2	778 „	(778 „)
6	Saturn	9,5	1400 „	(1,4 Kilometer)
7	Uranus	19,2	2900 „	(2,9 „)
8	Neptun	30,1	4500 „	(4,5 „)
9	Pluto	39,6	5900 „	(5,9 „)

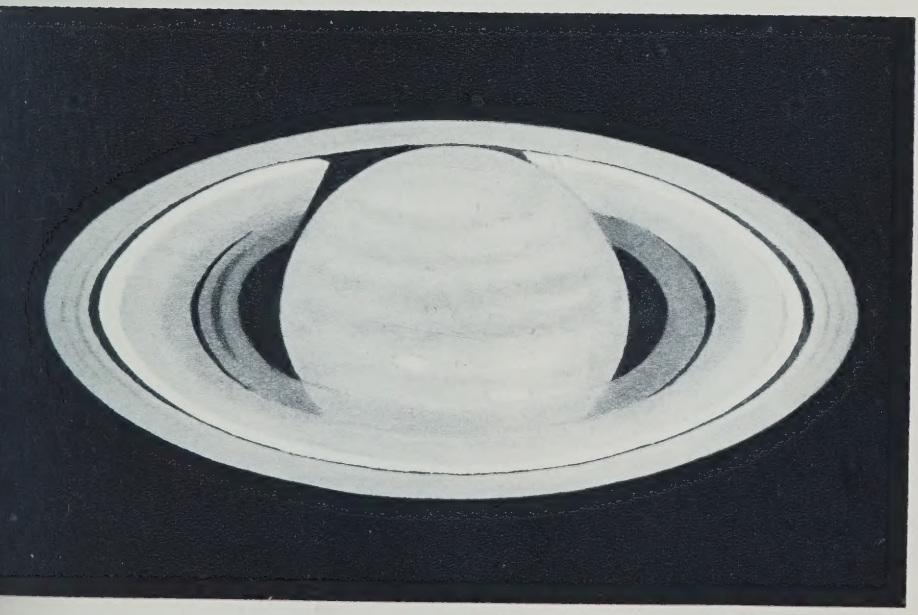
Wir sehen, daß unser Planetensystem, soweit wir es bis heute kennen, querdurch etwa vierzigmal größer ist als die Erdbahn.

(6) Elliptische Bahnen. So wie die Erdbahn kein Kreis, sondern eine Ellipse ist, so haben überhaupt alle Planeten elliptische Bahnen. Sie liegen nicht streng in der Ebene der Erdbahn, d. h. nicht in der Ekliptikebene, bevorzugen diese aber im großen Durchschnitt. Die Neigungen der Planetenbahnen gegen die Ekliptik betragen bei den acht ersten Planeten der letzten Tabelle höchstens 7 Grad, bei der Plutobahn 17. — Für die Beschreibung aller geometrischen Eigenschaften einer Planetenbahn wird eine größere Anzahl Bestimmungsstücke definiert und angewandt. Wir zählen sie hier auf, indem wir auf Bild 133, besonders aber auch auf Bild 102 verweisen. In Klammer stellen wir neben den Namen des Gegenstandes dessen übliche Buchstabenbezeichnung. — 1) Datum (T_0) des Periheldurchganges. Es ist der Zeitpunkt, am besten in mittlerer Greenwicher, also in Weltzeit, ausgedrückt, wann der Planet zum letztenmal im Perihel war, mitunter auch der Augenblick des bevorstehenden Periheldurchganges. 2) Die Knotenlänge (θ oder ☊), einfach Knoten genannt und gelesen, ist die Ekliptiklänge des aufsteigenden Knotens, in Graden angegeben. 3) Die Knotendistanz (ω) des Perihels, auch Argument der Breite des Perihels genannt, ist das in Graden gemessene Stück „aufsteigender Knoten bis Perihel". 4) Die Bahnneigung (i) gegen die Ekliptikebene wird durch die Winkel 0 bis 180 Grad gemessen. Die Bahnen mit einer Neigung kleiner als 90 Grad erscheinen rechtläufig. Rückläufige Bahnen, unter den Planeten selbst nicht beobachtet, können als „rechtläufige mit der Neigung größer als 90 Grad" beschrieben werden. 5) Die Periheldistanz (q) ist der Abstand des Perihelortes von der Sonne. Er wird gewöhnlich in astronomischen Einheiten angegeben. 6) Die Epoche (t oder Ep) ist der Zeitpunkt für bestimmte, uns gerade interessierende Koordinaten des Planeten. 7) Die wahre Anomalie (v), gelegentlich der Betrachtung der Erdbahnellipse schon definiert, ist der sonnenzentrische Winkel zwischen Perihel und dem Planetenort zur Zeit der „Epoche". 8) Die mittlere Anomalie (M), auch schon früher definiert, ist der sonnenzentrische Winkel zwischen Perihel und mittlerem, d. h. mit gleichmäßiger Winkelgeschwindigkeit laufendem erdachten Planeten, der mit dem wahren die gleiche siderische Umlaufszeit besitzt. 9) Die siderische Umlaufszeit (T oder U) wird in siderischen Jahren (365^d

06^h 09^m 09^s mittlerer Zeit) angegeben. 10) Die mittlere tägliche Bewegung (n oder μ), die durchschnittliche tägliche Winkelgeschwindigkeit des Planeten, wird in Bogensekunden angegeben. 11) Die halbe große Achse (a) der Bahnellipse, auch mittlere Entfernung genannt, wird gewöhnlich in astronomischen Einheiten angegeben. 12) Die numerische Exzentrizität (e), das Verhältnis der linearen Exzentrizität zur halben großen Achse, ist eine unbenannte Zahl. In Zusammenstellungen der Bahnelemente wird sie der in astronomischen Einheiten oder in Kilometern angebbaren linearen Exzentrizität stets vorgezogen. 13) Der Exzentrizitätswinkel (φ) ist der Winkel „Sonne - Nebenscheitel - Ellipsenmitte". Er kennzeichnet ebenso die Form der Ellipse, wie die numerische Exzentrizität. 14) Der Abstand (r) des Planeten von der Sonne zu irgend einer Zeit und 15) der Abstand (Δ) des Planeten von der Erde zu irgend einer Zeit werden gewöhnlich in astronomischen Einheiten angegeben. — Aus zwei oder mehr Stücken zusammengesetzt sind folgende Größen: 16) Die „Perihellänge". Sie ist als die Summe „Knotenlänge plus Knotendistanz des Perihels" ein Bogen, der in zwei verschiedenen Ebenen, zunächst in der Ekliptik, dann in der Bahnebene, gemessen wird. 17) Die „wahre Länge in der Bahn" ist die Summe „Perihellänge plus wahre Anomalie". 18) Die „mittlere Länge in der Bahn" ist die Summe „Perihellänge plus mittlere Anomalie". Da die Perihellänge ein gebrochener Bogen ist, sind die beiden letztaufgezählten Größen auch auf je zwei verschiedenen Ebenen zu zählen.

(7) Bahnbestimmung. Einen um die Sonne gelegten Kreis können wir eindeutig beschreiben, wenn wir außer seinem Halbmesser noch die Neigung seiner Ebene und den Ort des aufsteigenden Knotens angeben. Es sind also drei sogenannte Elemente nötig. Um eine Ellipse um die Sonne festzulegen, benötigen wir im ganzen fünf Elemente, zunächst zwei, die Größe und Form der Ellipse eindeutig bestimmen, wie halbe große Achse und numerische Exzentrizität, dann noch drei, die die Verankerung der Ellipse im Ekliptiksystem eindeutig kennzeichnen, nämlich die Knotenlänge, die Neigung der Bahn und die Knotendistanz des Perihels. Rechnen wir noch die Zeit des Periheldurchganges zu diesen Elementen hinzu, dann erhöht sich die Anzahl der Elemente als von einander unabhängiger Bestimmungsstücke auf sechs. Wir stellen diese sechs von einander unabhängigen Elemente noch einmal zusammen:





Oben: Saturnphotographie (Mount Wilsonsternwarte)
Unten: Saturnzeichnung (Staatssternwarte Wien)

Komet Daniel 1907 (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl)

TAFEL XIII

a = halbe große Achse
e = numerische Exzentrizität
Θ oder Ω = Knotenlänge
i = Bahnneigung
ω = Knotendistanz des Perihels
T_0 = Datum des Periheldurchganges.

Die Umlaufszeit (T oder U) kann, wie im zehnten Kapitel gezeigt wird, aus der halben großen Achse der Bahn berechnet werden. Sie ist deshalb nicht unter den obigen sechs voneinander unabhängigen Elementen aufgezählt worden. Ebenso ist die Periheldistanz (q) hier nicht noch einmal angeführt, da sie sich (Bild 102) aus der halben großen Achse und der linearen, damit auch aus der halben großen Achse und der numerischen Exzentrizität ergibt. Die Elemente, die Größe und Form der Ellipse beschreiben, haben wir früher veranschaulicht. Die übrigen Elemente sind sphärischer Natur. Sie werden an der um die Erde oder um unser Auge gelegten Himmelskugel ge-

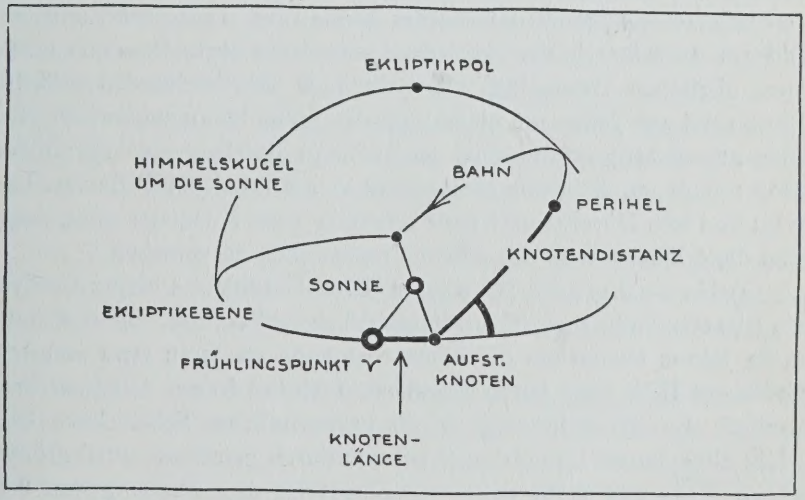


Bild 133. Sphärische Elemente einer Planetenbahn. Der kräftig bezeichnete Winkel bedeutet die Bahnneigung gegen die Ekliptik. Knotendistanz bedeutet: „Knotendistanz des Perihels".

messen und dann gewöhnlich auf die um die Sonne gelegte Himmelskugel übertragen gedacht. Bild 133 soll uns die sphärischen Elemente zu vergegenwärtigen helfen. — Aus den Elementen einer Bahn

lassen sich alle weiteren Bestimmungsstücke, wie wir sie im vorigen Kapitel aufzählten, errechnen. Insbesondere läßt sich ein wichtiger Zusammenhang beweisen, der zwischen Sonnenabstand eines Bahnpunktes, Geschwindigkeit in diesem Punkt und großer Bahnachse besteht: Die große Bahnachse ist ein für allemal bestimmt, wenn Bahnort und Geschwindigkeit in demselben gegeben sind. In Kapitel 13 wird dieser Zusammenhang weiter behandelt werden.

(8) Plutobahn. Als Beispiel einer Ellipse mit großer numerischer Exzentrizität soll die äußerste, die Plutobahn, dienen, sie ist im planetaren Maßstab zugleich mit den mehr kreisähnlichen Bahnen von Saturn, Uranus und Neptun auf Bildtafel XXXI wiedergegeben. Die Plutobahn ist um 17 Grad gegen die Erdbahn oder gegen die Ekliptikebene geneigt, deren Frühlingspunktrichtung mit der Südrichtung des Planes — Süd unten — zusammenfällt. Der aufsteigende Knoten hat die Länge von 109 Grad. Das Perihel steht 113 Grad von diesem Knoten ab. Die halbe große Achse mißt rund 40, die Perihelentfernung 30, die Aphelentfernung 50 astronomische Einheiten. Der zweite leere Brennpunkt ist von der Sonne rund 20 solcher Einheiten entfernt, so daß er in der Nähe der Uranusbahn liegt. Bei einer mittleren täglichen Bewegung von etwa 14½ Bogensekunden braucht Pluto rund 250 Jahre, um einmal um die Sonne herumzukommen. Er steht gegenwärtig im Sternbild der Zwillinge als Stern etwa 15. Größe. Man nimmt an, daß seine Masse etwa vier Fünftel der Erdmasse beträgt und sein Durchmesser ganz ungefähr 5000 Kilometer mißt, doch sind diese Zahlen noch mit einem Fragezeichen zu versehen.

(9) Uranus und Neptun. Über Uranus und Neptun geben die Planetentafeln ausgiebige zahlenmäßige Aufschlüsse. Uranus läuft in 84 Jahren einmal um die Sonne. Er kann als Stern etwa sechster Größe mit Hilfe einer guten Sternkarte auch mit freiem Auge gesehen werden. Im Fernrohr zeigt er ein graugrünliches Scheibchen. Die leicht abgeplattete Uranuskugel ist, querdurch gemessen, 4mal größer als die Erde und dreht sich, entgegengesetzt dem Drehungssinn der Erde, in etwa 11 Stunden einmal um sich selbst. Die Albedo des Uranus beträgt 63 Prozent. — Er besitzt vier Monde: Ariel, Umbriel, Titania und Oberon. Sie kreisen in Entfernungen bis zu 12 Uranusdurchmessern in 2½ bis 13 Tagen um den Planeten, und zwar retrograd in einer zur Planetenbahn fast senkrechten Ebene. — Neptun, im Durchmesser etwa 4,2mal größer als die Erde, kreist in 165 Jahren

um die Sonne. Er kann als Stern achter Größe in kleineren Fernrohren nur schwer von einem Fixstern unterschieden werden. Er rotiert in 16 Stunden in der dem Drehsinn der Erde entgegengesetzten, retrograden Richtung. Sein einziger Mond Triton ist 14. Größenklasse und läuft retrograd in einer Entfernung von 7 Neptundurchmessern in knapp 6 Tagen einmal um.

(10) Bahngesetze. Die für die Erdbahn angegebenen Gesetze gelten, immer nur auf ein und denselben Planeten angewandt, allgemein als Planetengesetze. Wir wiederholen sie hier, um ihnen dann weitere hinzuzufügen: 1. Der Leitstrahl eines Planeten beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächen. 2. Die auf dem Einheitskreis gemessene Winkelgeschwindigkeit eines Planeten verhält sich umgekehrt wie das Quadrat des Leitstrahles. 3. Die Geschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Leitstrahlen. — Handelt es sich um den Vergleich der Bahnen zweier verschiedener Planeten, dann kommen zwei weitere Gesetze in Betracht: 4. Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer großen halben Bahnachsen. 5. Bei zwei kreisähnlichen Bahnen verhalten sich die Quadrate der mittleren Geschwindigkeiten wie die Kehrwerte der Abstände von der Sonne. Man nennt das unter 1. angeführte Gesetz das zweite, das unter 4. angegebene das dritte Keplersche Gesetz. Als erstes Keplersches Gesetz bezeichnet man die Tatsache, daß alle Planeten speziell in Ellipsen um den Brennpunkt Sonne laufen.

(11) Rechenbeispiele. Die Gesetze können mit dem in den Planetentafeln enthaltenen Zahlenstoff verschiedentlich nachgeprüft werden. Wir geben für das dritte Keplersche Gesetz ein Beispiel: „Jupiter und Saturn".

In dieser Zusammenstellung beziehen sich die „Quadrate" und „Kuben" auf die unmittelbar links stehenden Zahlen. Es soll Zahl mal

Planet	Siderischer Umlauf in Tagen	Quadrate	Mittlere Entfernung in astronom. Einheiten	Kuben
Jupiter	4 332,6	18 771 000	5,20277	140,83
Saturn	10 759,2	115 760 000	9,53885	867,94

Zahl, dann Zahl mal Zahl mal Zahl genommen werden. Wird in der Spalte „Quadrate" die obere durch die untere Zahl dividiert, dann erhält man ebenso 0,1622, wie wenn man in der Spalte „Kuben" die obere durch die untere Zahl dividiert. Es verhalten sich demnach wirklich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Kuben der mittleren Entfernungen. — Dieses dritte Keplersche Gesetz ermöglicht es, aus der Feststellung der siderischen Umlaufszeit die mittlere Entfernung eines Planeten zu berechnen. Soll z. B. die Entfernung Jupiters als unbekannt und nur dessen siderischer Umlauf zu 11,863 Jahren als bekannt vorausgesetzt werden — wir zählen jetzt die Zeit in Jahren und die Längen in astronomischen Einheiten — dann können wir Jupiter zur Erde in Beziehung setzen, die die siderische Umlaufszeit 1 und die mittlere Entfernung 1 besitzt. Es muß nach dem Gesetz also 11,863 mal 11,863 oder 141 sich zu 1 mal 1 verhalten, wie die gesuchte Zahl, dreimal mit sich selbst multipliziert, sich zu 1 mal 1 mal 1 verhält. D. h. wir müssen eine Zahl suchen, die, dreimal mit sich selbst multipliziert, 141 ergibt. Dies ist aber 5,2. Soviel astro-

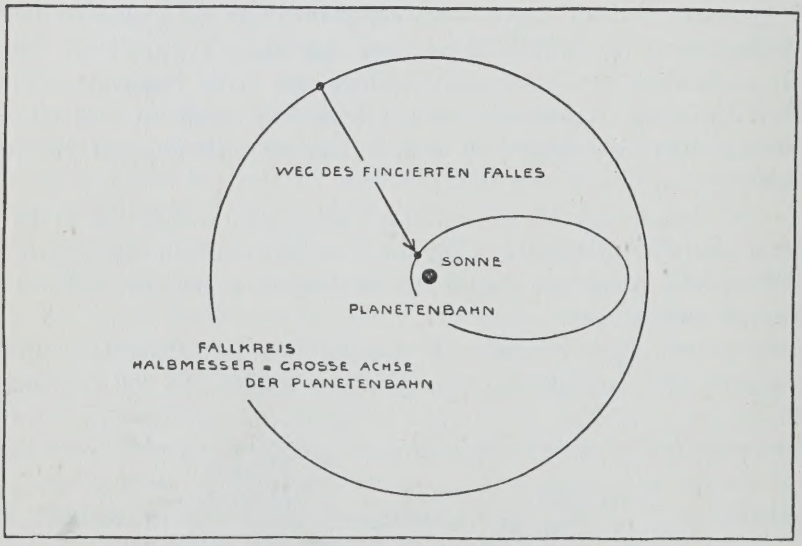


Bild 134. Fallkreis einer Planetenbahn. Die Geschwindigkeit in jedem einzelnen Punkte der Bahn ist dem Betrag nach die gleiche, mit der der Planet bei freiem Fall aus dem Fallkreis gegen die Sonne längs des Pfeiles in der Bahnellipse anlangen würde.

nomische Einheiten beträgt also die Jupiterentfernung. Auf diese Art sind auch die Entfernungen der anderen Planeten, besonders auch der Planetoiden, in astronomischen Einheiten bestimmt worden. Voraussetzung für die restlose Gültigkeit des dritten Keplerschen Gesetzes ist die, daß die Massen der Planeten als verschwindend klein im Verhältnis zur Sonnenmasse angenommen werden können, eine immerhin erlaubte Annahme, die, wie obige Rechenbeispiele bestätigen, zunächst zu keinem Widerspruch führt. — Beansprucht man für die Rechnung einen höheren Genauigkeitsgrad, dann hat das „verbesserte" Planetengesetz, wenn wir die Massen in Sonneneinheiten ausdrücken, so zu lauten: 4a. Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Zahlen, die sich ergeben, wenn wir die Kuben der großen Halbachsen der Bahnen durch die um Eins vermehrte Planetenmasse dividieren.

(12) Fallkreis. Zur Ergänzung dessen, was wir über Planetenlauf und Planetengesetze gesagt haben, soll auf Grund des Bildes 134 noch ein zu jeder Planetenbahn gehöriger Kreis erwähnt werden, den wir den Fallkreis der betreffenden Planetenbahn nennen wollen. Seine Mitte liegt in der Sonne und sein Halbmesser ist so groß wie die Längsachse der Planetenbahn. Er steht in einem merkwürdigen Zusammenhang mit den Planetengeschwindigkeiten in den einzelnen Punkten der Bahnellipse. Fassen wir einen beliebigen Punkt dieses Fallkreises ins Auge und denken wir uns von hier aus den Planeten direkt in die Sonne fallend, so hat dieser fallende Körper im Schnittpunkt mit der tatsächlichen Bahnellipse dieselbe Geschwindigkeit, nur in anderer Richtung, wie der wirkliche Planet an eben dieser Stelle. Die kleine Planetengeschwindigkeit im Aphel und die große im Perihel sind auf diese Art beschreibbar.

(13) Geschwindigkeit und große Achse. Aus den Bahngesetzen ergibt sich der früher erwähnte Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit eines Planeten in einem Punkt der Bahn und der großen Achse der Bahn. Bild 135 soll das Gesetz veranschaulichen. Es sei mitten im gestrichelten Hilfskreis ein Planet in gegebenem Abstand von der Sonne. Erteilen wir diesem Planeten in irgend einer beliebigen Richtung eine bestimmte Geschwindigkeit, die z. B. dem Halbmesser des Hilfskreises entsprechen soll, dann wird je nach der Richtung der gegebenen Geschwindigkeit eine sehr schlanke, eine dickere Ellipse oder auch ein Kreis sich als Bahn ergeben. In allen

Fällen jedoch ist der größte Durchmesser der Bahn stets derselbe, in welcher Richtung auch der Planet geschleudert werden möge. Es ist also bei gegebener Ausgangsgeschwindigkeit und bei gegebenem

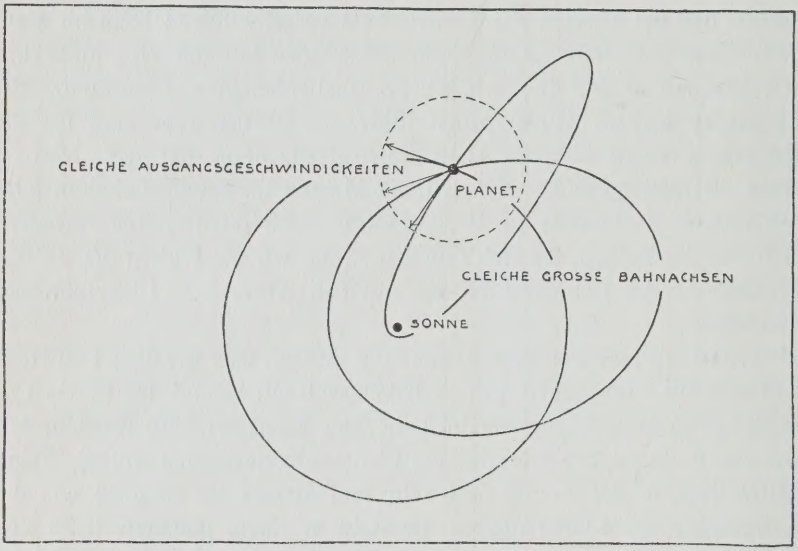


Bild 135. Abhängigkeit der Bahnachse von der Ausgangsgeschwindigkeit eines Planeten bei gegebenem Sonnenabstand

Sonnenabstand die große Achse der entstehenden Planetenbahn von vornherein bestimmt.

(14) Massenschwerpunkt. Die Masse der einzelnen Planeten ist im Verhältnis zur Sonnenmasse klein. Die 2 Quintillionen Kilogramm der Sonne überwiegen die aller Planeten zusammen viele hunderte Mal. Trotzdem ist der Schwerpunkt des ganzen Systems „Sonne plus alle Planeten" nicht genau in der Mitte der Sonne. Je nachdem, wie die Planeten, besonders die massenreichen, im Ekliptiknetz hinsichtlich der Sonne verteilt sind, wandert der Schwerpunkt im Sonnenkörper herum, kommt auch für Jahre aus der Sonne heraus (Bild 136).

(15) Einteilung der Planeten. Außer den schon genannten neun Planeten, die man die großen nennt, gibt es, wie schon erwähnt, noch die vielen Kleinplaneten. Außer dieser sehr natürlichen Scheidung empfehlen sich noch andere Einteilungen: a) „Untere" Pla-

neten sind die innerhalb der Erdbahn kreisenden im Gegensatz zu den „oberen". b) Massenreicher wieder, dabei aber weniger dicht, sind Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun im Gegensatz zu den absolut

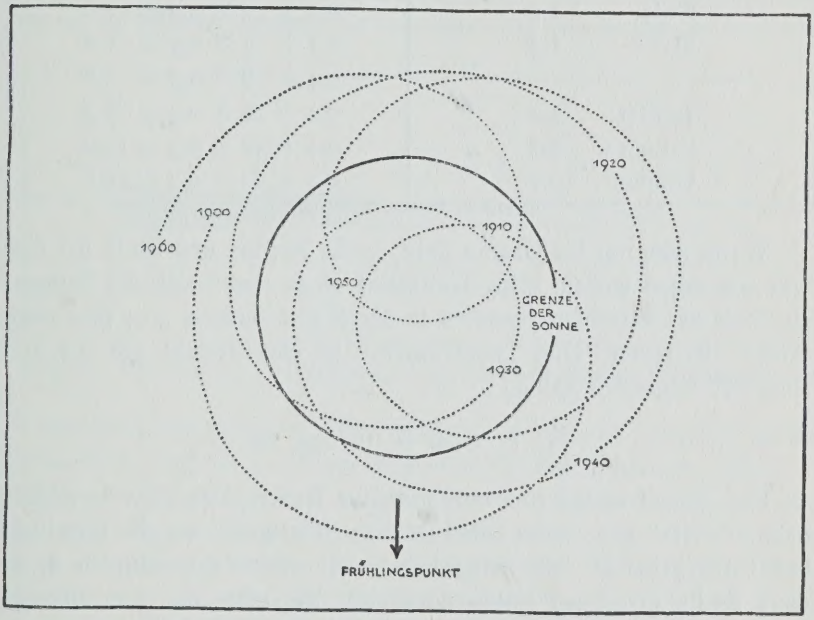


Bild 136. Schwerpunkt des Sonnensystems. Er wandert, je nach der Stellung der großen Planeten, im Verlauf der Jahre herum und ist zum großen Teil außerhalb des Sonnenkörpers.

leichteren, doch spezifisch schwereren: Merkur, Venus, Erde, Mars, Pluto. c) Nach der von der Erde aus gesehenen Helligkeit können die fünf: Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn als die „hellen" bezeichnet werden, im Gegensatz zu den teleskopischen. Uranus wird praktisch zu letzteren gezählt, sowie Kleinplaneten, die ausnahmsweise auch mit freiem Auge gesehen werden konnten.

(16) Kleinplaneten. Ob es reiner Zufall ist oder nicht, läßt sich kaum entscheiden, aber es besteht für eine Reihe von Planeten so etwas wie ein ungefähres Gesetz hinsichtlich der Sonnenabstände. Geben wir diese letzteren in astronomischen Einheiten an, so kann dies sogenannte Titius-Bodesche Gesetz aus der Tabelle hier unmittelbar entnommen werden.

Planet und Sonnenabstand		Rechnung
Merkur	0,4	$0{,}4 + \frac{1}{2} \times 0{,}3 = 0{,}55$
Venus	0,7	$0{,}4 + 1 \times 0{,}3 = 0{,}7$
Erde	1,0	$0{,}4 + 2 \times 0{,}3 = 1{,}0$
Mars	1,5	$0{,}4 + 4 \times 0{,}3 = 1{,}6$
		$0{,}4 + 8 \times 0{,}3 = 2{,}8$
Jupiter	5,2	$0{,}4 + 16 \times 0{,}3 = 5{,}2$
Saturn	9,5	$0{,}4 + 32 \times 0{,}3 = 10{,}0$
Uranus	19,2	$0{,}4 + 64 \times 0{,}3 = 19{,}6$

Wenn man nur bis Uranus geht — für Neptun und Pluto hat das, was wir sagen wollen, keine Gültigkeit — so lassen sich die Sonnenabstände der einzelnen Planeten je durch eine Summe „0,4 plus noch etwas" darstellen. Dies „noch etwas" ist ein Produkt aus 0,3 und einer der folgenden Zahlen

$$\frac{1}{2},\ 1,\ 2,\ 4,\ 8,\ 16,\ 32,\ 64.$$

Die Zahlen bilden eine multiplikative Reihe. Das sieht zweifellos nach „Gesetz" aus. Jedes Glied ist doppelt so groß, wie das unmittelbar vorhergehende. Allerdings haben wir eine Zahl, nämlich 8, in diese Reihe sozusagen eingeschmuggelt. Sie hätte nur ihre Berechtigung, wenn, 2,8 astronomische Einheiten von der Sonne entfernt, ein relativ großer Planet kreiste. Dies ist nicht der Fall, aber die vielen Kleinplaneten laufen im großen und ganzen innerhalb eines Gürtels, der zwischen der Mars- und der Jupiterbahn liegt und dessen dichteste Stelle im Sinne der angeführten Regel für die Lücke in obiger multiplikativer Reihe verantwortlich gemacht werden könnte. Jedenfalls hat es den Anschein, als ob die Kleinplaneten Splitter eines größeren Planeten seien, der vor seinem „Untergang" in der Entfernung von 2,8 astronomischen Einheiten um die Sonne kreiste. Dabei kann vom kosmogonischen Standpunkt aus zweierlei möglich sein, daß sich nämlich dieser größere Planet von allem Anfang an nicht zu einer Gesamtmasse formen konnte oder daß eine nachträgliche Zertrümmerung erfolgte. — Es ist auch denkbar, daß zwei oder mehrere größere Planeten sich in Splitter auflösten.

(17) Schwarmlücken. Im Bild 137 sind über 1000 Punkte, jeder Punkt ein Kleinplanet, derart an den zwischen Mars und Jupiter

liegenden Raum in langer Reihe angefügt, daß zu jedem zwischen Mars und Jupiter liegenden Intervall im Betrag einer zehntel astronomischen Einheit soviel Punkte kommen, als es Kleinplaneten in diesem Intervall gibt. Die Anzahl der Kleinplaneten jeder Punktzeile ist an der unteren Zahlenreihe ablesbar. Aus der Skizze läßt sich eine

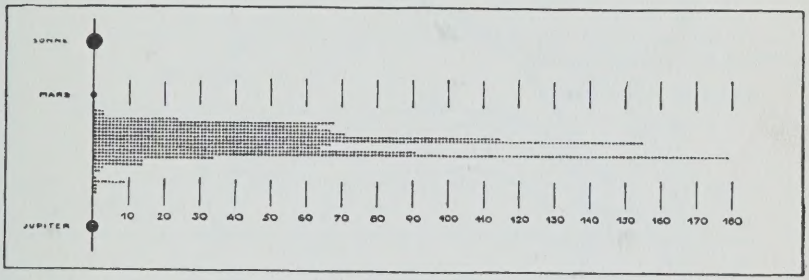


Bild 137. Statistik der Kleinplaneten. Zwei dichte Stellen im Planetenschwarm

Zweiteilung des gesamten Schwarmes herausfinden. Jedenfalls ist der Planetoidenring an zwei verschiedenen Stellen besonders dicht. — Dann wieder gibt es auch ausgesprochene Schwarmlücken. Es gibt nämlich Umlaufszeiten, die einem halben, drittel oder viertel Jupiterumlauf gleichen, relativ wenige. Es ist dies kein Zufall. Denn Jupiter ist der massenmächtigste aller Planeten. Seine Gravitationskräfte wirken störend auf die Kleinplaneten. Wenn ein solcher z. B. bei jedem zweiten oder dritten oder vierten Umlauf, je nachdem seine Umlaufszeit $^1/_2$, $^1/_3$ oder $^1/_4$ Jupiterumlaufszeit beträgt, etwa zwischen Sonne und Jupiter gerät und diese stets gleiche Stellung sich sehr lange Zeiträume hindurch ständig wiederholt, kann selbst der allerkleinste störende Einfluß des großen Planeten sich derart allmählich aufsummieren, daß der Kleinplanet, um ein Bild zu gebrauchen, dieser ewigen Störung satt, den Platz, der nach dem dritten Keplerschen Gesetz seiner ursprünglichen Umlaufszeit entspräche, verläßt und so beiträgt, die genannten Lücken zu erzeugen.

(18) Außergewöhnliche Bahnen. Die Kleinplaneten haben zum großen Teil von denen, die sie entdeckten, Eigennamen erhalten, im übrigen werden sie durch Nummern oder Jahreszahlen mit angefügten Unterscheidungsbuchstaben benannt. Die ununterbrochene Verfolgung und Überwachung der Planetoiden ist ein unbeschreiblich mühsames, aber auch entsprechend wichtiges Problem der praktischen

wie theoretischen Astronomie, besonders auch in statistischer Hinsicht. Einige der kleinen Körper bieten auch einzeln oder in Gruppen interessante Fälle durch Form und Lage ihrer Bahn, wie durch ihre

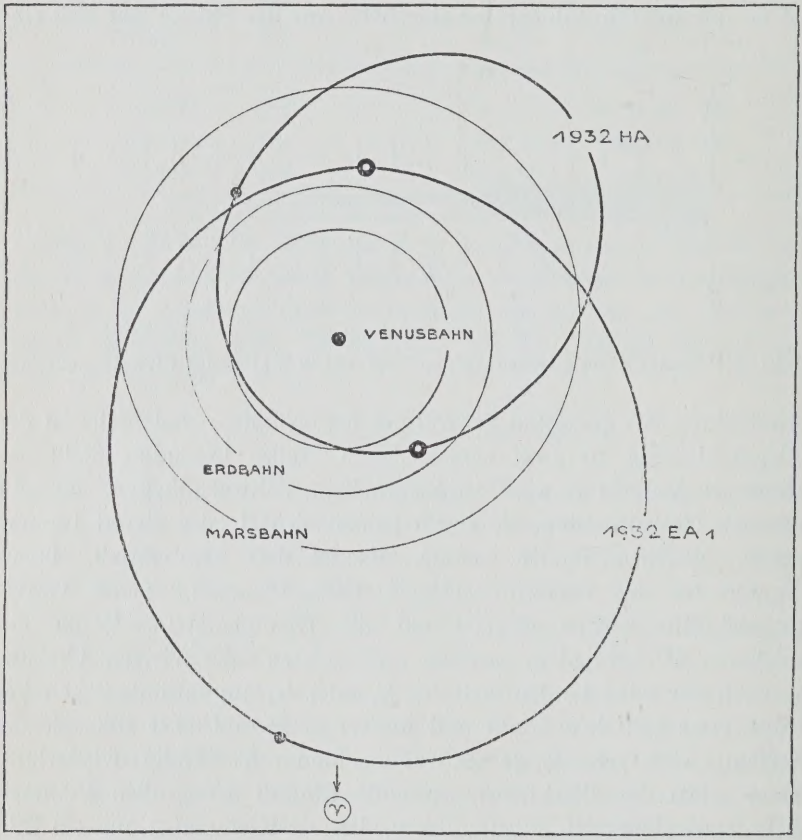


Bild 138. Außergewöhnliche Planetenbahnen. Kleinplanet 1932 HA dringt in die Venusbahn ein.

Beziehung zur Bahn des Jupiter. Im allgemeinen bilden Mars- und Jupiterbahn die äußeren Grenzen des Planetoidenringes, doch werden sie von einigen Objekten überschritten. Die Tabelle hier enthält Kleinplaneten, die wegen ihrer Bahn besonders interessant sind.

Die stark geneigte Bahn des Planeten Hidalgo reicht weit über die Jupiterbahn hinaus, kommt schon der des Saturn nahe. Er

Außerhalb der	zugleich innerhalb der	
	Saturnbahn	Jupiterbahn
Marsbahn	Hidalgo. Achilles und 9 andere „Trojaner“.	
Erdbahn		Ganymed und 2 andere der Albertgruppe. Eros. Amor.
Merkurbahn		Planet 1932HA.

hat die größte Bahnachse nicht nur unter allen Planetoiden, sie übertrifft auch die der Jupiterbahn. Zehn Kleinplaneten nahe der Jupiterbahn, die sogenannten Trojaner, stehen ganz unter der Herrschaft Jupiters und führen eigenartige Pendelungen, sogenannte Librationsbewegungen aus, die im Abschnitt über das Dreikörperproblem besonders behandelt werden. Ganymed bildet mit zwei anderen die sogenannte Albertgruppe, deren Bahnen in die Marsbahn übergreifen und relativ große Exzentrizitäten besitzen. Eros und Amor, letzterer in Bild 138 als 1932EA1 bezeichnet, kommen von außen her sehr nahe an die Erdbahn heran. Der Kleinplanet 1932HA — im Bild 138 sind die aufsteigenden Knoten durch Ringe, die absteigenden durch Punkte bezeichnet — tritt sogar ins Innere der Venusbahn. Bei seiner letzten Kreuzung mit der Erdbahn hatte er bloß eine Entfernung von 10 Millionen Kilometern von der Erde. — Die Kleinplaneten haben sehr geringe Durchmesser. Der des größten, Ceres, mißt weniger als 800 Kilometer und es ist sicher gestattet, die kleinsten Planetoiden mit bloßen Felsblöcken zu vergleichen, dies auch hinsichtlich ihrer unregelmäßigen Form, auf die man aus deren Helligkeitsschwankungen schließen konnte. — Die geringe Masse eines Kleinplaneten ist nicht imstande, eine Atmosphäre dauernd an sich gefesselt zu halten. — Bis zum 1. Oktober 1933 wurden 1264 Kleinplaneten numeriert.

ZWEITER ABSCHNITT
HELLE PLANETEN

Merkurbahn / Merkur selbst / Venusbahn / Venusoberfläche / Durchgangsparallaxe / Marsbahn / Marsbild / Marsmonde / Jupiterbahn / Jupiterbild / Jupitermonde / Saturn / Saturnring / Saturnmonde

(1) Merkurbahn. Wenn wir vom Erdplaneten absehen, so lautet die Reihe der fünf hellen, mit freiem Auge gut wahrnehmbaren Planeten, von der Sonne ausgehend: Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn. Die Bahn Merkurs (Bild 132 und 139) läßt sich annähernd zunächst als Kreis in einfachen Zahlenverhältnissen beschreiben. Wir teilen die Strecke Sonne-Erde in fünf gleiche Teile. Zwei davon fallen auf den Halbmesser der Merkurbahn, drei auf die kürzeste Entfernung Erde-Merkur. Der Eintritt dieser Konjunktion erfolgt dann, wenn der Planet, von der Erde aus gesehen, von links nach rechts, also rückläufig wandert. Derartige Konjunktionen Merkurs

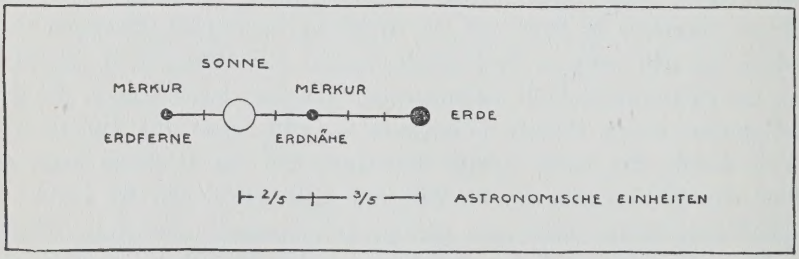


Bild 139. Merkur in Erdnähe (unterer Konjunktion) und Erdferne (oberer Konjunktion). Vereinfachte Zahlenverhältnisse

und auch der Venus, wenn also die Planeten zwischen Sonne und Auge stehen, sind die unteren Konjunktionen im Gegensatz zu den oberen, bei denen z. B. Merkur 1 $^2/_5$ astronomische Einheiten von uns entfernt ist. Die numerische Exzentrizität der Merkurbahn, etwa $^1/_5$, ist im Verhältnis zu der der übrigen hellen Planeten sehr groß. Infolge der großen Exzentrizität schwankt die größte Elongation zwischen

18 und 28 Grad. Der siderische Umlauf des Merkur zählt 88, der synodische 116 Tage, so daß der Planet etwa dreimal im Jahr zwischen uns und die Sonne tritt. Hiebei ereignet es sich mitunter, daß die Merkurscheibe vor die Sonnenscheibe tritt. Derartige Merkurdurchgänge finden etwa 13 im Jahrhundert statt. — Unter dem störenden Einfluß der Planeten erfährt die Bahnellipse des Merkur eine drehende Bewegung, und zwar derart, daß die Ekliptiklänge des Merkurperihels jährlich um fast 6 Bogensekunden zunimmt. Dieser Betrag kann bis auf eine kleine Unstimmigkeit von $^2/_5$ Bogensekunden aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz berechnet werden. Die Deutung dieses Restbetrages wird im vorletzten Abschnitt unseres Buches erörtert werden.

(2) Merkur selbst. An den Planeten interessieren uns außer Bewegungsverhältnissen, Entfernungen und Durchmessergröße insbesondere Masse und Dichte der Planetenkugel, ihre Rotation, sowie Einzelheiten der Oberfläche, Licht- und Temperaturverhältnisse, die Atmosphäre, falls eine solche nachweisbar ist, und deren Zustände und überhaupt die physikalischen Bedingungen, die auf dem Planeten herrschen. — Die Scheibe des Merkur erscheint, je nachdem, ob er uns näher oder weiter ist, verschieden groß, im Maximum, etwa bei einem Durchgang vor der Sonne, 13 Bogensekunden groß, in gleicher Entfernung wie Sonne 6½ Bogensekunden querdurch, was einem Durchmesser von 4800 Kilometern entspricht. Merkur ist also bedeutend kleiner als unsere Erde, der kleinste unter den hellen Planeten, der kleinste der sogenannten großen Planten überhaupt. Seine Masse beträgt etwa $^1/_{25}$ der Erdmasse, die Dichte 0,7 der Erddichte, die Schwerkraft an der Merkuroberfläche nur etwa $^1/_5$ der Erdschwere. Die Rückstrahlungsfähigkeit der äußersten Merkuroberfläche, die sogenannte Albedo oder Oberflächenweiße, beträgt 7 vom Hundert, während, zum Vergleich angeführt, die der irdischen Schönwetterwolken etwa 80 ausmacht. Man darf deshalb keinerlei wolkige Umhüllung für den Planeten annehmen, ja er scheint überhaupt keine Atmosphäre zu besitzen, die mit unserer irdischen irgendwie verglichen werden könnte. Temperaturmessungen, deren Möglichkeit uns der nächste Abschnitt zeigen soll, haben für die sonnbestrahlte Planetenoberfläche außerordentlich hohe Beträge ergeben, was im guten Einklang mit der Annahme steht, daß es dort keine Wärmeabschirmung gibt, wie die irdische Atmosphäre für uns eine bedeutet.

Es ist derzeit noch nicht möglich, über die Rotationsverhältnisse des Merkur sichere Aussagen zu machen. Wir wissen nicht, ob ein „Tag" auf dem Merkur Stunden oder Monate nach unseren Erdenuhren zählt. Wir sind auch darüber nicht zuverlässig unterrichtet, ob die Rotationsachse nahezu senkrecht zur Merkurbahn steht, ob sie gegen diese geneigt ist oder ob sie gar in die Bahnebene selbst fällt.

(3) Venusbahn. Von den fünf hellen Planeten kommt Venus der Erde am nächsten. Bei ihrer unteren Konjunktion beträgt ihre Ent-

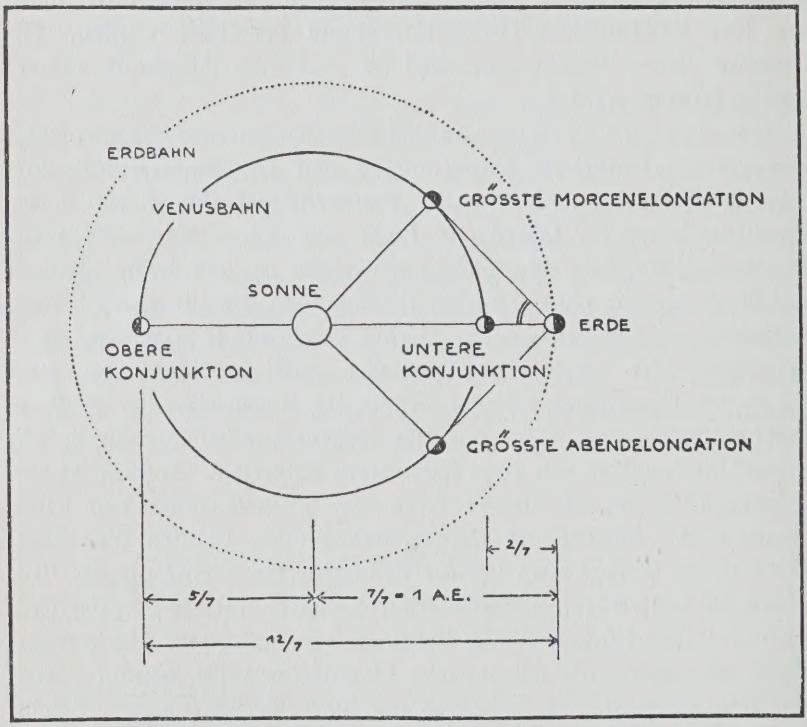


Bild 140. Venusbahn innerhalb der Erdbahn. Vereinfachte Zahlenverhältnisse. AE = Astronomische Einheit = 150 Millionen Kilometer.

fernung etwa $^2/_7$, bei der oberen, hinter der Sonne, $^{12}/_7$ astronomische Einheiten (Bild 140). Im Gegensatz zur exzentrischen Merkurbahn ist die Venusbahn sehr kreisähnlich. So schwankt die Entfernung des Planeten von der Sonne nur zwischen 0,72 und 0,73 astronomischen Einheiten. Die siderische Umlaufszeit beträgt 7 Monate, die synodische

1,6 Jahre. Die Vorübergänge des Planeten vor der Sonnenscheibe sind bedeutend seltener als die des Merkur. Die letzten Venusdurchgänge fanden 1874 und 1882 statt, während die nächstfolgenden erst in den Jahren 2004 und 2012 eintreten. Da buchstäblich vor unseren Augen Venus und innerhalb ihrer Bahn Merkur um die Sonne kreisen, bietet eine Kombination dieser sonnenzentrischen Perspektive mit der erdzentrischen Betrachtung ein sehr lebendiges Bild. Man nennt es das Tychonische Weltsystem. Es läßt um die feste Erde Mars, Jupiter und Saturn in Epizykeln laufen, läßt auch die Sonne sich um die Erde bewegen, während die Sonne Merkur und Venus um sich schwingt. Vom Standpunkt der Relativität aller Drehungen kann auch dieses Bild nur lehrreich sein.

(4) Venusoberfläche. Die Venusscheibe zählt im Durchmesser 17 Bogensekunden, wenn der Planet so weit wie die Sonne steht. In Erdnähe sind es 64 Bogensekunden querdurch, in Erdferne bloß 10, so daß der Durchmesser sich bei der Annäherung des Planeten mehr als versechsfacht (Bild 141). Die Phasen, die bei Merkur weniger

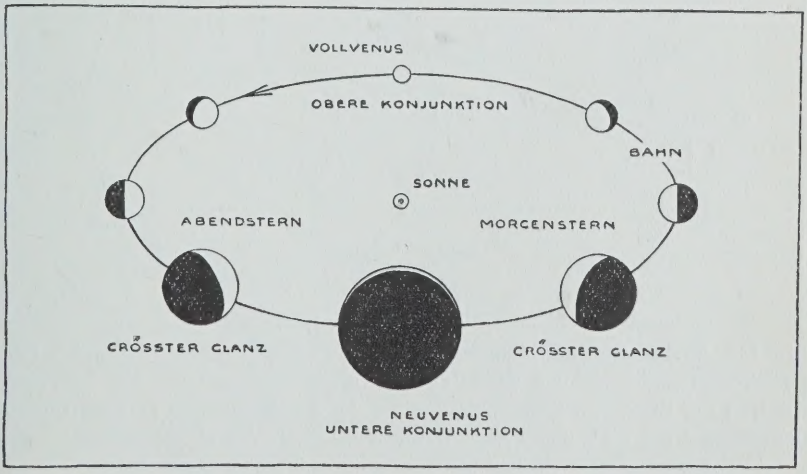


Bild 141. Venusphasen. Neuvenus im Winkelmaß sechsmal größer als Vollvenus

zur Geltung kommen, sind bei Venus sehr ausgeprägt. Etwa 36 Tage vor und 36 Tage nach der unteren Konjunktion erscheint der Planet im größten Glanze. Aus Winkeldurchmesser und Entfernung ergibt sich für den wirklichen Durchmesser des Planeten der Betrag von

rund 12 000 Kilometern gegen 13 000 bei unserer Erde. Die Masse ist etwa 0,8, die Dichte 0,9, größer als bei Merkur, und die Beschleunigung auf der Oberfläche 0,9 der irdischen. Die große Rückstrahlungsfähigkeit der Venus — fast 60 Prozent — beweist, daß der Planet von einer dichten Atmosphäre eingehüllt sein muß, die uns seine eigentliche Oberfläche vollständig verdeckt. Erscheinungen von Flecken an der Oberfläche können kaum als tatsächliche Gegenstände gedeutet werden. Es ist auch bis heute ebenso wenig wie bei Merkur gelungen, aus der Beobachtung heraus über die Rotation des Planeten etwas Sicheres zu erfahren.

(5) Durchgangsparallaxe. Das dritte Keplersche Gesetz gestattet den Sonnenabstand eines jeden Planeten mit dem eines anderen zu vergleichen. Man kann so z. B. den Sonnenabstand der Venus, der $^5/_7$ des Sonnenabstandes der Erde ausmacht, beliebig genau in

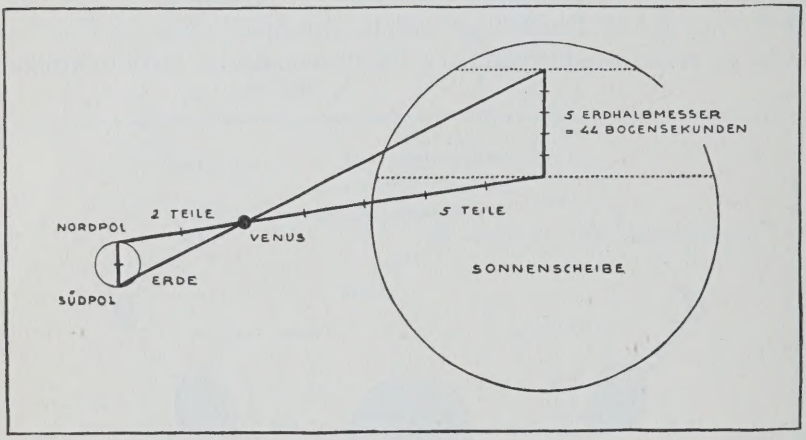


Bild 142. Bestimmung der Sonnenparallaxe bei einem Venusdurchgang. Die punktierten Sonnensehnen bedeuten die Durchgangslinien für den Süd- und Nordpol der Erde. Ein Erdhalbmesser auf der Sonnenscheibe erscheint unter dem Winkel von 8,8″, daher auch unter demselben Winkel (Sonnenparallaxe) ein wirklicher Erdhalbmesser, von der Sonne aus gesehen.

diesen „astronomischen Einheiten" ermitteln. Wir nehmen an, die Zahl stimme vollkommen. Kennen wir aber die astronomische Einheit nicht etwa im Kilometermaß, dann bleiben alle noch so genauen Rechenergebnisse nach dem Keplerschen Gesetz nur relativ. Die Beobachtung eines Venusdurchganges vor der Sonnenscheibe kann

Oben: Feuerkugel vom 12. September 1923 (Prag)
Unten: Widmannstättensche Figuren auf der Schnittfläche eines Eisenmeteoriten (Meteoritensammlung Wien)

Oben: Meteorkrater in Arizona. Durchmesser 1300 m. Tiefe 190 m
(Carnegiestiftung Washington)
Unten: Zodiakallicht (Lowellsternwarte)

aber die wirkliche Entfernung Erde-Sonne liefern oder, was auf dasselbe herauskommt, die Sonnenparallaxe, d. h. den Winkel, unter dem der Erdhalbmesser von der Sonne aus gesehen erscheint. — Stellen wir uns etwa im Augenblick des Sonnenaufgangs, wenn also die Sonne im Horizont steht, eine Linie Auge-Sonne vor, dann bildet diese mit dem bekannten Erdhalbmesser unseres Beobachtungsortes zwei Katheten eines schmalen rechtwinkeligen Dreiecks, bei dem nach ermittelter Sonnenparallaxe — Winkel an der Sonne — drei Stücke bekannt sind, so daß man z. B. die Strecke Erdmitte-Sonne, also die gewünschte Sonnenentfernung errechnen kann. — Es läuft also alles darauf hinaus, zunächst die Sonnenparallaxe zu erhalten, was bei Gelegenheit eines Venusdurchganges möglich ist. — Bild 142 gibt das rohe Schema einer solchen Erscheinung. Von der Erde aus gesehen — diese der Einfachheit wegen als ruhend angenommen — läuft Venus vor der Sonnenscheibe nach rechts vorbei. Die Richtung stimmt, denn Venus braucht nach dem dritten Keplerschen Gesetz weniger Zeit, um um die Sonne herumzukommen, als die weiter entfernte Erde. Vom Südpol der Erde gesehen zieht Venus die obere punktierte Sonnensehne entlang, vom Nordpol aus gesehen beschreibt sie die untere punktierte Sehne. In den beiden kräftig ausgezogenen Dreiecken verhalten sich, da sich die Strecke Erde-Venus zur Strecke Venus-Sonne wie 2 : 5 verhält, auch die vertikal gezeichneten Strecken wie 2 : 5. Wenn also vom Nord- bis zum Südpol 2 Erdhalbmesser liegen, so muß das im Bild beschriftete Stück — die Sonne als Scheibe gedacht — 5 Erdhalbmesser betragen. Dieses Stück ist von der Erde aus meßbar, zum mindesten aus den Beobachtungen ableitbar. Es betrage 44 Bogensekunden. Dann muß ein Stück auf der Sonnenscheibe, das nur 1 Erdhalbmesser lang ist, den fünften Teil, also 8,8 Bogensekunden fassen. Ob wir aber einen Erdhalbmesser, der auf der Sonne markiert ist, von der Erde aus messen oder einen solchen auf der Erde von der Sonne aus sehen, bleibt sich gleich. Wir wissen also, wie groß von der Sonne aus gesehen der Erdhalbmesser erscheint. Das bedeutet aber, daß wir die Sonnenparallaxe kennen. So leistet uns Venus große Dienste, leider nur sehr selten, erst im nächsten Jahrtausend wieder.

(6) Marsbahn. Nehmen wir 1 Million Kilometer als Einheit, was im planetaren Maßstab einem Meter entspricht, so ergibt sich für die Marsbahn, auch in Beziehung zur Erdbahn, folgende Beschreibung: Sie

ist eine Ellipse, deren Längsachse $2 \times 228 = 456$ beträgt (Bild 132). Vom Mittelpunkt der Ellipse ist der Sonnenort 21 Einheiten entfernt. Um die Sonne als Mitte stellt ein Kreis mit dem Halbmesser 150 die Erdbahn dar. Der größte Abstand des Mars von der Sonne beträgt im Mittel $228 + 21 = 249$, der kleinste $228 - 21 = 207$. Der größte Abstand des Mars von der Erde ergibt sich zu $249 + 150 = 399$, der kleinste zu $207 - 150 = 57$ Einheiten, also 57 Millionen Kilometern in Wirklichkeit oder 57 Metern im planetaren Modell. Wegen der nun doch vorhandenen Exzentrizität der Erdbahn, die allerdings im Verhältnis zur Marsbahn gering ist, sind genannte Zahlen Veränderungen unterworfen. — Die siderische Umlaufszeit des Mars währt 687 Tage oder etwa 1,9 Jahre, die synodische Umlaufszeit, etwa von Opposition zu Opposition, schwankt aber wegen der Exzentrizität der Marsbahn zwischen 2 Jahren 34 Tagen und 2 Jahren 80 Tagen.

(7) Marsbild. Steht Mars von uns ebenso weit ab wie die Sonne, so erscheint er als Scheibe von 10 Bogensekunden querdurch. Bei günstiger Opposition beträgt der Durchmesser bis zu 25 Bogensekunden. Es entspricht dies 6800 Kilometern. Die Masse des Mars ist bloß 0,1 der Erdmasse, die Dichte 0,7 der Erddichte und die Schwerebeschleunigung etwas mehr als ein Drittel der Erdbeschleunigung. Der Planet rotiert in 24 Stunden 37 Minuten um eine Achse, die gegen die der Ekliptik um 25 Grad geneigt ist. Die Oberfläche zeigt mannigfaltige Einzelheiten. Von den sechs Photographien auf Bildtafel X, aus ein und derselben Nacht, sind die unteren drei mit gelbem, die oberen mit blauem Filter aufgenommen worden. Die unteren zeigen ungefähr das Bild, wie es uns im Fernrohr erscheint. Die dunkeln Einzelheiten werden gerne als Wasserflächen, die helleren als Kontinente beschrieben, doch ist deren Deutung noch durchaus nicht sicher. Die auffälligen weißen Teile am Nordpol (Nord oben) und am linken Rand (Bild, obere Reihe) dürfen als atmosphärische Gebilde gedeutet werden. Das Sonnenlicht erfährt in einer solchen Atmosphäre, wenn sie der unseren auch nur halbwegs ähnlich ist, eine stärkere Zerstreuung, während die gelben Strahlen der Sonne durch die Marsatmosphäre durchgehen, diese selbst also nicht erleuchten, ihre Spuren daher auch nicht auf der photographischen Platte hinterlassen. — Die sogenannten Marskanäle, deren Netzwerk Bild 143 nach einer Zeichnung wiedergeben soll, lassen sich als rein optische, also nichtreelle Erscheinung nachweisen. — Man schätzt die

Höhe der Marsatmosphäre, falls sie als solche richtig gedeutet ist, auf 200 Kilometer. Rotation und Achsenneigung verschafft der Marsoberfläche ähnliche, wenn auch infolge des längeren Gesamtjahres entsprechend länger dauernde Jahreszeiten, als sie die Erde hat. Man nimmt für die Pole Wintertemperaturen zwischen -60 und -70 Grad Celsius

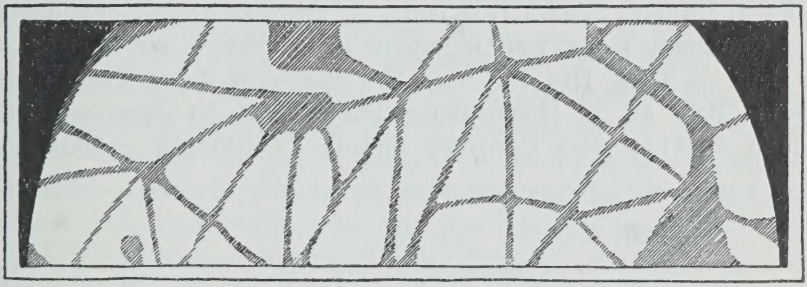


Bild 143. Marsausschnitt mit dunkeln Flecken und sogenannten Kanälen

an. Bei Oppositionsstellung des Mars hat man für die Marsmitte, ebenso für den rechten, den Westrand, für den die Sonne unter-, sowie für den Ostrand, für den die Sonne gerade aufgeht, folgende Temperaturen angegeben: Westrand 0 Grad Celsius, Mitte 14 über und Ostrand 45 Grad unter Null. Verglichen mit unserer irdischen Luft, ist die Atmosphäre des Mars bedeutend dünner, der wirkliche Luftdruck aber unbekannt. Wasserdampf- und Sauerstoffgehalt ist nachgewiesenermaßen sehr gering. Die gewiß interessante Frage, ob Mars von pflanzlichen oder tierischen Lebewesen bewohnt ist, oder die tägliche Frage: „Gibt es Menschen auf dieser unserer Nachbarwelt?“ sind astronomischerseits nicht zu beantworten. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die mit den irdischen Verhältnissen wenn auch nur sehr entfernt vergleichbaren klimatischen Zustände der Marsoberfläche organische Entwicklung gestatten oder vielleicht in vergangenen Zeiten ermöglicht haben.

(8) Marsmonde. Nahezu in der Äquatorebene des Mars kreisen um diesen zwei Monde, Phobos und Deimos, in der Entfernung von 2,8 und von 7 Marshalbmessern, von der Marsmitte aus gezählt. Sie sind außerordentlich lichtschwach, nur ungefähr 13. Größe. Ihre Durchmesser betragen kaum 10 Kilometer. Während Deimos 30 Stunden zu einem Umlauf braucht, läuft Phobos schon in 8 Stun-

den einmal herum — eine Zeit, die bloß $^1/_3$ Marstag entspricht. Er läuft also rascher um die Marsachse als ein beliebiger fester Punkt der Marsoberfläche, so daß dieser Mond, nicht wie unser irdischer im Osten auf- und im Westen untergeht, wie dies auch Deimos tut, sondern im Westen sich erhebt, um im Osten zu verschwinden.

(9) Jupiterbahn. Die siderische Umlaufszeit dieses mächtigsten Planeten beträgt 11,9 Jahre, die synodische von Konjunktion zu Konjunktion oder von Opposition zu Opposition durchschnittlich 1 Jahr 34 Tage. Das Hin- und Herschwanken dieses Planeten in seiner Bahn an der Himmelskugel um die Zeit der Opposition soll durch Bild 144 seine Erklärung finden. Es sind hier gleichzeitige

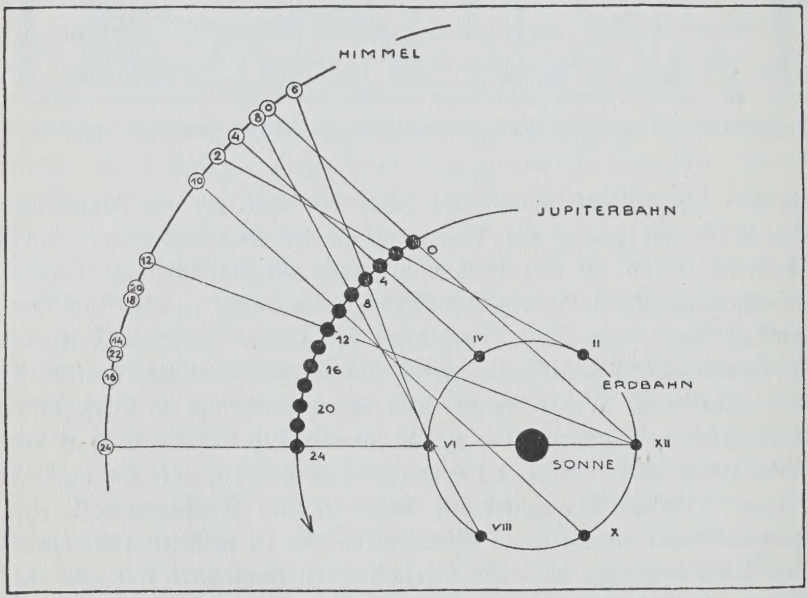


Bild 144. Jupiterbahn, sonnenzentrisch gleichmäßig rechtläufig, erdzentrisch abwechselnd recht- und rückläufig

Örter von Erde und Jupiter nach Monaten numeriert miteinander verbunden. Der entsprechende Vektor ist abwechselnd recht- und rückläufig, in der Opposition immer rückläufig. Auf diese Weise entstehen Zickzacklinien, sowie auch regelrechte Schlingen, wenn während des Hin und Her infolge der gegenseitigen Bahnneigung zwischen Erde und Planet dieser sich der Erdbahnebene nähert und sich von ihr

entfernt. Zwei Apparaturen, das Baseler Orbitoskop im kleinen und das Zeißplanetarium im großen zeigen deutlich, daß die noch so komplizierten himmlischen Planetenwege sich durch ähnliche einfache Kreisbewegungen um die Sonne erklären lassen, wie wir sie unserem Bild 144 zugrunde legten. Die genannten Apparate arbeiten mechanisch rein kopernikanisch, sonnenzentrisch, und wirken optisch gleichzeitig rein ptolemäisch, erdzentrisch.

(10) Jupiterbild. Der Planet erscheint in mittlerer Position in der Helligkeit - 2½ und wird so mitunter viel heller als Sirius. Die Planetenscheibe hat im Mittel einen Winkeldurchmesser von 40, bei größter Erdnähe von 50, bei größter Erdferne von nur 31 Bogensekunden. Jupiter ist dem Inhalt und der Masse nach der mächtigste Planet. Sein Äquatordurchmesser beträgt 143 000 Kilometer, die Abplattung $^1/_{15}$, die Dichte Jupiters $^1/_4$ der Erddichte. Die Masse ist über 300mal größer als die der Erde. Der mächtige Planet wiegt rund 2000 Quadrillionen Kilogramm, ist somit immerhin rund tausendmal leichter als die Sonne. Die Albedo der Oberfläche beträgt 56 Prozent. Bei der Rotation, die am Äquator 9 Stunden 50 Minuten beträgt, kommen die polnäheren Punkte nicht ganz mit, sie brauchen weit im Norden und Süden eine um 5 Minuten längere Zeit zum Umschwung. Es macht den Eindruck, als ob äußere Einflüsse die Atmosphäre des Planeten in der Äquatorgegend in Bewegung setzten und infolgedessen die polaren Stellen wegen ihrer Trägheit zurückblieben. — Wegen geringfügiger Achsenneigung kann von eigentlichen Jahreszeiten nicht gesprochen werden. Fernrohrbilder zeigen eine typische Verteilung heller gelblicher und dunkler, rötlichbrauner Streifen parallel zum Rotationsäquator. Die hellen Streifen wurden Zonen genannt — es gibt eine Äquatorzone, eine nördliche und südliche tropische Zone und eine nördliche und südliche Polarzone — die dunkeln Streifen heißen Bänder — es gibt ein nördliches und südliches Äquatorband und ein nördliches und südliches gemäßigtes Band. Die Namen wollen an die klimatischen Zonen der Erde erinnern. In den dunkeln Gebieten sind mitunter eiförmige helle Gebilde eingebettet. — Man hält die hellen Streifen auf Grund der gemessenen hohen Rückstrahlung des Sonnenlichtes für dichte Wolken. Es sind wohl Eiswolken, wenn die berechnete tiefe Temperatur von minus 150 Grad Celsius auch nur annähernd stimmt. Bildtafel X, unten, gibt links eine Ultrarot- und rechts eine Violettaufnahme des Planeten,

die ähnlich gedeutet werden können wie die Bilder des Mars. Der sogenannte „rote Fleck" — 30 000 Kilometer lang — war besonders im vorigen Jahrhundert deutlich zu sehen. Seine Spuren sind bis heute noch nicht verschwunden. Man hat ihn für einen Ausbruch aus dem heißen Jupiterinneren gehalten und sein allmähliches Erblassen als eine Art Vernarbung gedeutet.

(11) Jupitermonde. Der Planet zeigt schon für den Feldstecher eine interessante Nachbarschaft. Er ist von vier hellen Monden umgeben, die ihn in 2 bis 17 Tagen umlaufen, zu denen sich im Fernrohr und auf photographischen Aufnahmen fünf weitere, einer innerhalb der hellen Monde und vier äußere mit Umlaufszeiten bis zu rund 800 Tagen gesellen. Die vier hellen Monde — auch die

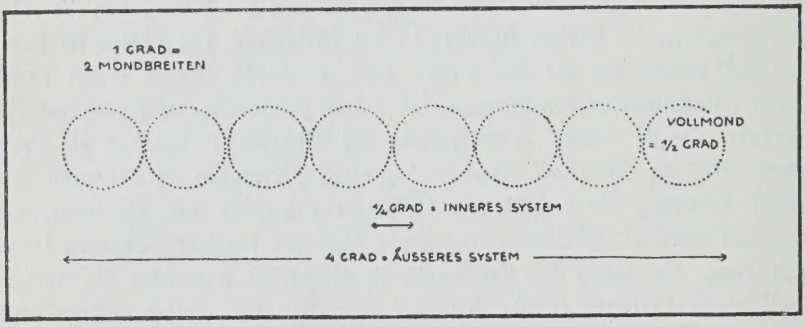


Bild 145. Mondsystem Jupiters. Ausdehnung der inneren und der äußeren Mondbahnen im Winkelmaß

Galileischen Monde genannt — heißen, in der Reihenfolge von Jupiter weg: I oder Jo, II oder Europa, III oder Ganymed — nicht zu verwechseln mit dem Kleinplaneten gleichen Namens — endlich IV oder Kallisto. Die Planetentafeln geben für Umlaufszeit, Bahnverhältnisse und Helligkeiten der Jupitermonde manche Einzelheiten. — Die Umlaufsverhältnisse der hellen Jupitermonde sind derart ausgiebig erforscht und bekannt, daß ihr rotierender Mechanismus eine von den früher erwähnten außerirdischen Uhren abgeben kann, wenn unsere „Uhr Erde" nicht zuverlässig genug „geht". Die vier hellen Monde sind 5. und 6. Größe, so daß sie eigentlich zum Teil auch mit freiem Auge gut müßten wahrgenommen werden können, doch überstrahlt sie für unser empfindliches Auge die helle Scheibe des Planeten. — Die Ausdehnung der Kreisbahnen der vier hellen Monde

und die der äußeren Bahnen, in Graden, läßt Bild 145 erkennen. Bild 146, dem als Beispiel für die äußeren Mondbahnen die von Mond VI und Mond VII eingezeichnet sind, läßt die Annahme begreifen, daß die äußeren Monde nicht von allem Anfang an zum Jupiter-

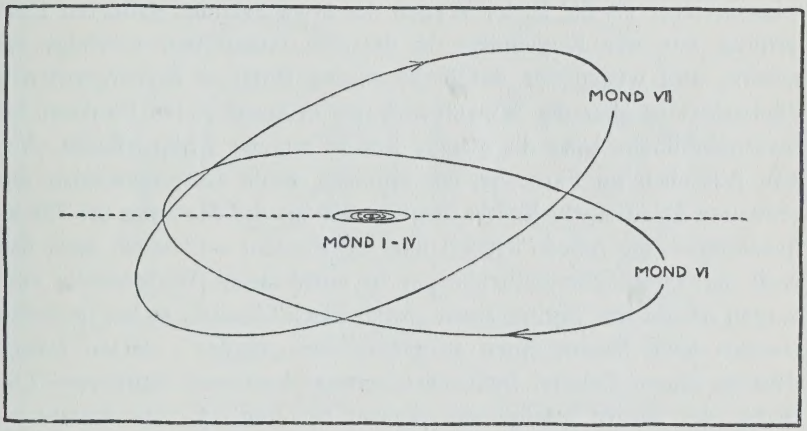


Bild 146. Zwei äußere Monde Jupiters. Ihre Bahnen sind der Größe und Lage nach grundverschieden von denen der vier hellen Monde.

system gehörten, sondern erst später, vielleicht aus dem Schwarm der Kleinplaneten, eingefangen wurden. Interessant sind die Schattenspiele der vier hellen Trabanten. Sie tauchen in den 90 Millionen Kilometer langen Schattenkegel ein, den der sonnbeschienene Jupiter in den Weltraum hinaus wirft, und kommen nach einer Zeit aus demselben wieder heraus. Oft werfen die Monde selbst Schatten — „Schönheitspflästerchen" — auf die helle Planetenscheibe, auf der sich dann wieder die Mondscheibchen bei ihrem Vorübergang vor der Jupiterscheibe abheben, wenn sie nicht zufällig vor gleich hellen Planetenteilen stehen. Die Photographien in Bildtafel X, unten, zeigen einen solchen Schattenwurf eines Mondes.

(12) Saturn. Saturn ist als „Wunderplanet mit dem Ring" ein Unikum. Er ist etwa zehnmal weiter von der Sonne entfernt als die Erde, der Sonne dreimal näher als Neptun oder als der äußerste Planet Pluto bei dessen Sonnennähe (Bildtafel XXXI). Die Saturnbahn ist nur wenig exzentrisch. — Der siderische Umlauf wird in 29½ Jahren vollzogen, dazu benötigt Saturn eine Sekundengeschwindigkeit von 10 Kilometern. Der synodische Umlauf mißt 1 Jahr und 13 Tage.

— Der Planetenkörper ist ohne Ring kleiner als Jupiter. Die Abplattung beträgt etwa $^1/_{10}$. Der Äquatorialdurchmesser ist rund 120 000, der Durchmesser von Pol zu Pol 110 000 Kilometer lang. Die Saturnkugel ist ungefähr 600 Quadrillionen Kilogramm schwer, fast hundertmal massenreicher als die Erde. Wegen der etwa zehnmal größeren Entfernung von der Kugelmitte, in der alle Gravitation vereinigt erscheint, und wegen der durch die rasche Rotation hervorgerufenen Fliehkräfte ist aber die Schwerewirkung an äquatorialen Punkten der Saturnoberfläche etwa die gleiche wie die auf der Erdoberfläche. Aus dem Aussehen im Fernrohr, das ähnliche, wenn auch schwächer angedeutete Streifen wie Jupiter zeigt, sowie aus der Messung der Rückstrahlung — die Albedo beträgt über 60 Prozent — schließt man, daß auch der eigentliche Saturnkörper in einer tiefen Wolkenhülle verborgen ist. So wie Jupiter einen „roten Fleck" besitzt, so hat neuesten Datums auch Saturn einen ausgesprochen „weißen", dessen Länge etwa zu einem Zehntel Saturndurchmesser bestimmt wurde. — Die Dichte des Saturn beträgt auf Wasser bezogen 0,7. Die Rotationsdauer wurde zu 10¼ Stunden bestimmt, doch sind für einzelne Teile auch schon größere Werte gefunden worden. Der Äquator des Saturn ist um den Winkel von 26 Grad gegen seine eigene Bahnebene und um 28 Grad gegen die Ekliptik geneigt. In der Ebene des Äquators liegen das große Ringsystem und die Bahnen von zehn Monden des Saturn.

(13) Saturnring. Er hat die Form eines Kreisringes, der um 26 Grad gegen die Bahnebene des Planeten geneigt ist, und erscheint im Fernrohr als mehr oder weniger schlanke Ellipse. Konzentrisch zum Umfang sieht man zunächst einen kräftigen dunkeln Strich, die sogenannte Cassinische Teilung, und mehrere schmale dunkle Linien, z. B. eine „Bleistiftlinie". Bildtafel XI zeigt auf ein und derselben Platte mehrere photographische Aufnahmen, die je nach der Belichtungszeit verschiedenes Gepräge haben, Bildtafel XII eine Photographie und eine Zeichnung des Planeten. Der Ring rotiert frei schwebend um die Kugel des Saturn. Sogenannte Dopplersche Verschiebungen der Spektrallinien, die wir samt Bild 147 im Abschnitt „Sonne und Strahlung" erklären wollen, haben bei Beobachtungen der linken und rechten Ringhälfte gezeigt, daß die inneren Ringteile mehr, die äußeren weniger Sekundenkilometer aufweisen und der Verlauf der Abnahme der Geschwindigkeit in der Richtung vom Saturn-

zentrum weg sich rechnerisch gut mit der Auffassung verträgt, daß der Ring aus lauter kleinsten Einzelkörpern besteht, die unabhängig voneinander nach den Planetengesetzen kreisen, denen zufolge die

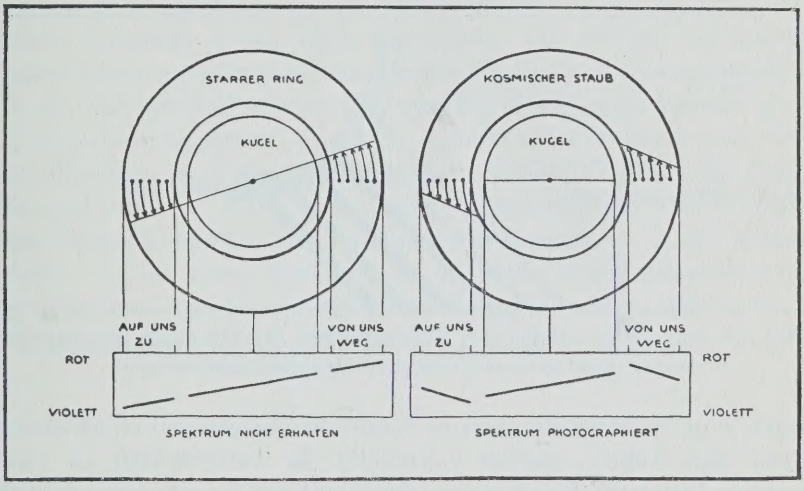


Bild 147. Saturnring besteht aus kosmischem Staub. Art der Dopplerschen Verschiebung der Spektrallinien als entscheidender Beweis

Quadrate der Geschwindigkeiten dem Abstand von der Mitte umgekehrt verhältnisgleich sind. — Die Masse des ganzen Ringes dürfte etwa ein Milliontel der gesamten Saturnmasse ausmachen. Die erwähnten konzentrischen dunkeln Streifen im Ringsystem deuten auf geringere Verteilungsdichte oder vollständigen Mangel der Ringteilchen hin. Auch Lichtmessungen bestätigen die Annahme, daß wir es im Ring mit Einzelteilchen zu tun haben, sei es, daß wir sie Meteoriten oder kosmische Staubkörper nennen. Das Schema Bild 148 soll zeigen, daß die Sonnenstrahlen bei Annahme von einzelnen getrennten Bausteinen des Ringes nicht so gleichmäßig reflektiert werden, wie wenn der Ring eine kompakte Masse wäre. Gewisse Stellen werfen, da stärker beschattet, weniger Licht auf die photographische Platte als andere und erscheinen entsprechend dunkler. Die Überlegung hier wird durch die Messungen voll bestätigt. — Der Ring wird vom Saturn in seinem Umlauf um die Sonne so mitgeschleppt, daß die Ringebene, zugleich Äquatorebene des Saturn, zu sich immer parallel bleibt. Deshalb bescheint die Sonne ein halbes Saturnjahr, rund 14 Erdenjahre, die nörd-

liche Ringseite, weitere 14 Jahre die südliche Ringseite usw. Wir sehen — von der Erde aus — etwa im selben Rhythmus einmal die nördliche, dann die südliche Ringseite (Bild 149). In zwei Zwischen-

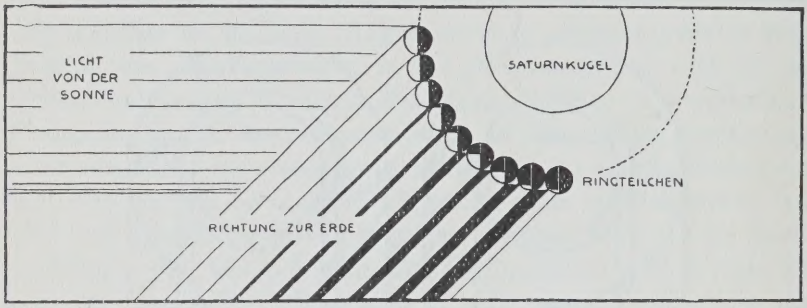


Bild 148. Saturnring. Infolge der Beschattungen der einzelnen Ringteilchen zeigen diese in ihrer Gesamtheit Helligkeitsabstufungen.

lagen wird der Ring nur „von der Kante" beschienen und verschwindet dann dem Anblick nahezu vollständig. Er verschwindet an zwei anderen Stellen für uns auch aus einem anderen Grund, wenn nämlich

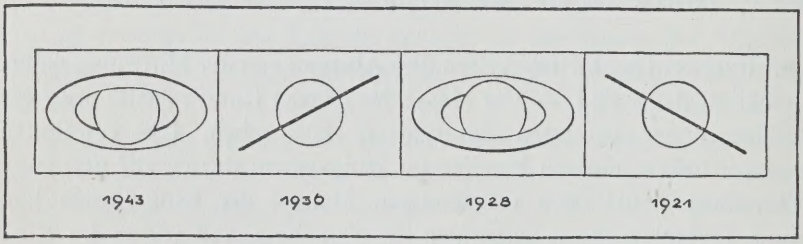


Bild 149. Stellung des Saturnringes. Vier Hauptphasen.

die Erde in der Knotenlinie des Ringes und damit in dessen Ebene selbst liegt.

(14) Saturnmonde. Die zehn Monde, vom Saturn aus nach außen aufgezählt, sind folgende: Mimas (oder I), Enceladus (II), Tethys (III), Dione (IV), Rhea (V), Titan (VI), Themis (X), Hyperion (VII), Japetus (VIII) und Phöbe (IX). Diese übliche, nicht ganz folgerichtige Numerierung ist geschichtlich zu erklären. Die Umlaufsperioden der Monde bewegen sich zwischen 1 Tag und 1½ Jahren. Die Helligkeiten liegen zwischen der 8. und 17. Größen-

klasse. Da alle Bahnen bis auf die der Phöbe den ungefähr gleichen aufsteigenden Knoten haben, bilden sie zweifellos von allem Anfang an ein geschlossenes System. Das Mondsystem des Saturn erstreckt sich bis zu 13 Millionen, das des massenreicheren Jupiter bis zu 24 Millionen Kilometer in den Weltraum hinaus. Bei gleicher Entfernung beider Systeme müßte das Saturnsystem etwa halb so groß erscheinen, als das des Jupiter (Bild 145), also rund vier Mondbreiten lang. Da aber Saturn etwa doppelt so weit liegt, werden aus den vieren nur zwei Mondbreiten oder 1 Grad. Unter diesem Winkel erscheint das ganze Saturnsystem. — Es ist nach den Planetengesetzen möglich, aus den Umlaufszeiten und den Abständen der Monde — z. B. der Saturnmonde — von ihrem Zentralkörper die Masse dieses Zentralkörpers zu bestimmen. Die Massen der Monde selbst können aus der Messung der gegenseitigen Störungen berechnet werden.

DRITTER ABSCHNITT
SONNE UND STRAHLUNG

Größenverhältnisse / Optische und Wärmedaten / Sonnenbild / Rotation / Sonnenpole / Querschnitt / Temperatur und Dichte / Sonne als Gasball / Grundstoffe / Atombau / Strahlung / Strahlenempfang / Spektralanalyse / Linieneffekte / Sonnenspektrum / Sonnenlinien und Farben / Effektive Temperatur / Strahlungsgesetze / Sonnenflecken / Relativzahlen / Schmetterlingsphänomen / Halescher Zyklus / Chromosphäre und Protuberanzen / Korona / Zodiakallicht

(1) Größenverhältnisse. Aus dem ersten und zweiten Teil wiederholen wir einige Sonnenzahlen und ergänzen sie:

mittlerer Winkeldurchmesser = 32 Bogenminuten
größter Winkeldurchmesser = 32½ Bogenminuten
kleinster Winkeldurchmesser = 31½ Bogenminuten

mittlere Entfernung = 149½ Millionen Kilometer
kleinste Entfernung = 147 Millionen Kilometer
größte Entfernung = 152 Millionen Kilometer

Durchmesser = 1 390 000 Kilometer = 109 Erddurchmesser
Halbmesser = 695 000 Kilometer = 109 Erdhalbmesser
Umfang = 4 360 000 Kilometer
Oberfläche = 6 Billionen Quadratkilometer = 12 000 Erdoberflächen
Rauminhalt = 1½ Trillionen Kubikkilometer = 1 300 000 Erdinhalte

Masse = 2 Quintillionen Kilogramm = 332 000 Erdmassen
Durchschnittsdichte = 1,41fache Wasserdichte
Sonnenparallaxe = 8,8 Bogensekunden
Lichtzeit Sonne - Erde = $8^1/_3$ Minuten.

Die an der Oberfläche wirksame Beschleunigung müßte auf der 332 000mal massenreicheren Sonne, falls diese bei Beibehaltung ihrer Masse nur ebenso groß wie die Erde wäre, ebensovielmal größer sein. Da aber die Sonnenoberfläche von der Sonnenmitte als

ihrem Kraftwirkungszentrum 109mal weiter absteht, als die Erdoberfläche von der Erdmitte, muß die Zahl nach den Gravitationsregeln durch 109mal 109 dividiert werden. Resultat:

Sekundliche Schwerebeschleunigung = rund 270 Meter
= 28fache Erdbeschleunigung.

So ist auch der in der ersten Sekunde zurückgelegte Weg eines fallenden Körpers 28mal größer als der entsprechende auf der Erdoberfläche, auch würde jede Masse, die von der Erde auf die Sonne gebracht würde, dort etwa auf eine von der Erde mitgebrachte Federwaage gelegt, 28mal mehr wiegen als hier auf Erden. Ein 70 Kilogramm schwerer Mensch müßte am Boden kriechend zwei Tonnen an seinem niedergepreßten Körper zu schleppen haben. Während ein Körper, dem wir hier auf Erden eine Sekundengeschwindigkeit von etwas mehr als 11 Kilometern erteilen, parabolisch unsere Erde ein für allemal verläßt, beträgt diese „parabolische Geschwindigkeit" für die massenreiche Sonne 610 Kilometer je Sekunde. Selbst raschbewegte Moleküle mit Sekundengeschwindigkeiten von vielen Kilometern können den Sonnenball nicht verlassen.

(2) Optische und Wärmedaten. Teilen wir der Sonne eine Helligkeits- oder „Größenklasse" zu wie den Sternen, dann muß

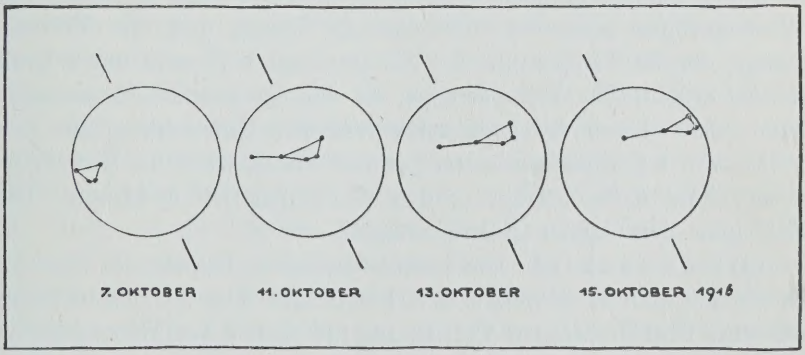


Bild 150. Fünf Sonnenflecken wandern über die Sonnenscheibe und zeigen die Drehung der Sonne an. Drehachse angedeutet

die Reihe 6, 5, 4, 3, 2, 1 über 0, -1, -2 usw. gewaltig hinaus bis -27 fortgesetzt werden. So leuchtet die Sonne fast eine halbe Million mal heller als der Vollmond, fast eine Milliarde mal heller als

Venus im größten Glanz. Die Beleuchtung, der diese Buchseite den senkrechten Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, kann in Meterkerzen oder Lux gemessen werden. Die beiden Namen bedeuten dieselbe Einheit. Wird das Buch in die Entfernung von 1 Meter von einer technischen Einheitskerze gehalten, so wird es mit 1 Lux beleuchtet. Ins Sonnenlicht gehalten, erhält es — unter der Voraussetzung eines Zenitstandes der Sonne — 135 000 Lux. Die große Lampe Sonne leuchtet mit 3000 Quadrillionen Kerzen. — Den 12,57sten Teil des von einer Einheitskerze ausgesandten Lichtstromes nennt die Technik Lumen und sie mißt ausgestrahlte Lichtmengen in dieser Einheit. Die Sonne sendet 40 000 Quadrillionen solcher Lumen aus, aus jedem Quadratzentimeter ihrer Oberfläche über 600 000 Lumen. — Wegen seiner vielfältigen Fähigkeit, chemische und kalorische sowie mechanische und andere physikalische Veränderungen hervorzurufen, bezeichnen wir das Licht als Energieform. Das von der Sonne ständig ausgestrahlte Licht ist aber nur ein Teil der von ihr überhaupt ausgestrahlten Gesamtenergie. Die reine Lichtleistung der Sonne ist rund 8 Kerzen je Watt. Da die Glühkörper unserer Beleuchtungstechnik bei immerhin hoher Temperatur nur 1 bis 2 Kerzen je Watt abgeben, muß die Sonnentemperatur alle irdischen Leuchttemperaturen bedeutend übertreffen. Man hat 5740 Grad Celsius für die durchschnittliche Temperatur der Sonnenoberflächenschicht errechnet. — Zur Messung von Wärmemengen kann die Grammkalorie dienen, d. h. die Wärmemenge, die die Temperatur der Wassermasse 1 Gramm um 1 Grad Celsius erhöht. Die Wärmemenge, die von der Sonne in ihrem mittleren Abstand von der Erde bei senkrechter Einstrahlung auf eine Fläche von 1 Quadratzentimeter gesandt würde, wenn die Erde keine Atmosphäre hätte, beträgt rund 2 Grammkalorien je Minute. Die Zahl führt den Namen „Solarkonstante".

(3) Sonnenbild. Die äußere leuchtende Schicht des Sonnenballs nennt man Photosphäre, d. h. Lichtkugel. Der Anblick in einem mit einer lichtdämpfenden Vorrichtung versehenen Fernrohr oder eine Photographie zeigen eine allmähliche Helligkeitsabnahme von der Mitte gegen den Rand, was dem Bilde plastisches Aussehen verleiht (Bildtafel II). Die Photosphäre ist selbst an den ganz gleichmäßig hellen Stellen gemustert, wofür der Ausdruck Körnelung und Granulierung gebräuchlich ist. Die Erscheinung ist so zu erklären, daß körperhafte Oberflächenelemente vielleicht nur 1 bis 3 Bogensekunden querdurch,

was immerhin Ausdehnungen von 700 bis 2100 Kilometern entspricht, dann auch noch kleinere Massen, in der enormen Hitze ebenso durcheinanderbrodeln, wie etwa Breiteile in einem großen Topf. Sie haben Geschwindigkeiten bis zu 40 Kilometern je Sekunde und eine Lebensdauer von nur Minuten. In der granulierten Fläche erscheinen dunkle, oft kreisrunde sogenannte Poren mit Durchmessern bis zu einigen hundert Kilometern. In ihrer Umgebung ist die Sonnenmaterie mitunter spiralig angeordnet (Bildtafel IV). Dunkle, oft ganz unregelmäßige Erscheinungen, vergrößerte Poren, heißen Sonnenflecken. Sie erreichen Durchmesser bis zu mehreren Bogenminuten (Bildtafel V). Sonnenfackeln sind aderige Gebilde stärkerer Helligkeit. Man kann sie in der Nähe der Flecken, besonders deutlich am Sonnenrand beobachten, übrigens in sämtlichen Teilen desselben, auch in höheren sonnenzentrischen Breiten, während die Flecken sich im Vorkommen auf zwei Streifen der Sonnenoberfläche, die „Königszonen", beschränken. Helle rötliche, mitunter hoch emporsteigende Massenauswürfe, die außerhalb des Sonnenrandes sich auf den Himmelsgrund projizieren, heißen Protuberanzen (Bildtafel VI).

(4) Rotation. Die Sonne dreht sich sichtlich um eine Achse. Man kann dies schon an der Beobachtung der Sonnenflecken erkennen. Bild 150 zeigt vier schematische Sonnenskizzen, die innerhalb von acht Tagen angefertigt wurden. Man sieht auf jeder Figur eine Anzahl von Flecken, die zufällig in der Form des Himmelswagens zueinander stehen. Verfolgen wir ihren Lauf an den vier gezeichneten Figuren, so finden wir, daß ein jeder Fleck in etwa zwei Wochen von einem zum anderen Sonnenrand gewandert ist, und zwar, wenn wir an die Mittagssonne denken, in der Richtung von links nach rechts, oder für ein Auge im Mittelpunkt der Sonne im selben Sinn, wie die Erde und die Planeten um die Sonne laufen. Dabei ziehen die Flecken in nahezu parallelen Bahnen dahin. Da sie erwiesenermaßen Gebilde der Sonnenoberfläche sind, so folgt, daß der Sonnenball sich für uns um seine Achse dreht, und zwar in etwa vier Wochen, genauer in 27 Tagen. In bezug auf die Sterne dauert diese einmalige Umdrehung 25 Tage. Betrachten wir für einen Augenblick einen Fleck, an dem wir die Sonnendrehung nachweisen wollen, als einen besonderen um die Sonnenmitte umlaufenden Körper, Planeten, dann entsprechen die 27 Tage gleichsam dem synodischen, die 25 Tage dem siderischen Umlauf. Ein äquatorialer, von der Drehachse möglichst

weit entfernter Punkt der Sonnenoberfläche läuft viermal rascher um als ein Punkt des irdischen Äquators. — Die siderische Sonnendrehung ist nicht einheitlich bestimmbar. Je nachdem, ob man Flecken be-

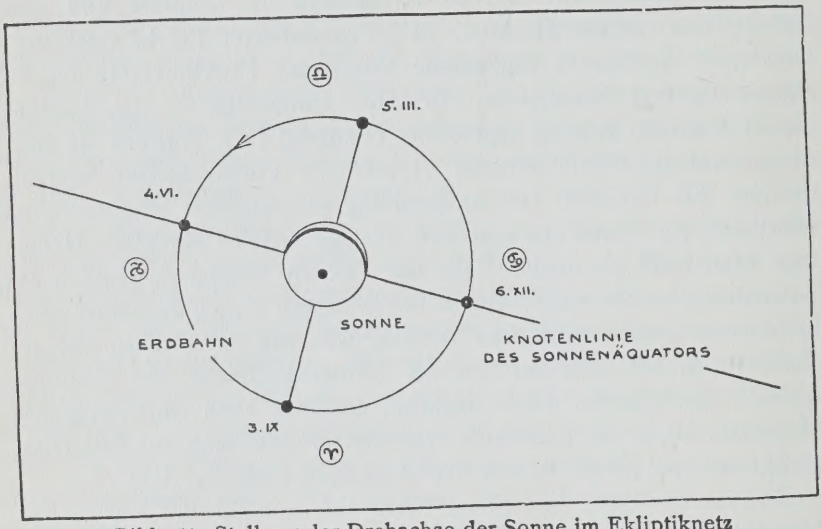


Bild 151. Stellung der Drehachse der Sonne im Ekliptiknetz

obachtet, die etwa durch die Mitte der Sonnenscheibe gehen, oder an ihr vorbei kleinere Sehnen beschreiben, erhält man verschiedene, im zweiten Fall größere Werte für die Rotationszeit. Die Sonnenoberfläche ist also durchaus kein starres System; sie rotiert ähnlich wie Jupiter und auch wie Saturn, nämlich so, als ob die Bewegung von außen her in einer äquatorialen Ebene erfolgte und die polaren Teile nicht recht mitkommen könnten. — Trotz der relativen Langsamkeit der Rotation — 25mal behäbiger als die der Erde — muß die Sonne abgeplattet sein, doch liegt der Betrag, um den die Polarachse kürzer ist als die äquatoriale, unter der Grenze der erreichbaren Meßgenauigkeit.

(5) Sonnenpole. Die Rotationsachse des Sonnenballes ist im Winkel von 7 Grad gegen die Ekliptikachse geneigt und zwar so, daß in der Projektion auf die Ekliptikebene der Nordpol der Sonne zu der Stelle weist, wo die Erde Anfang September weilt. Die Neigung des Sonnenäquators gegen die Ekliptikebene ist in Bild 151 absichtlich übertrieben groß gezeichnet. Der aufsteigende Knoten des Sonnenäquators

weist dorthin, wo die Erde Anfang Dezember, der absteigende dorthin, wo sie Anfang Juni steht. Im Frühling sieht man deshalb den Sonnensüdpol, und die Fleckenwege zeigen nach unten hohle Bogen, im Herbst ist der Nordpol der Sonne sichtbar, und die Bogen sind

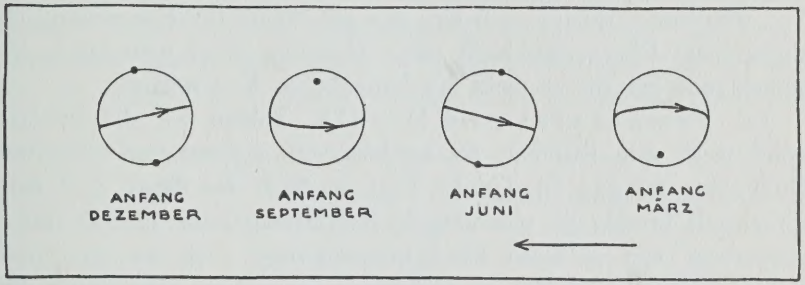


Bild 152. Bahn der Sonnenflecken über die Sonnenscheibe in den einzelnen Jahreszeiten. Mit Bild 151 zu vergleichen

nach oben hohl. Im Juni und Dezember beschreiben die Flecken regelrechte gerade Kreissehnen (Bild 152).

(6) Querschnitt. Wir greifen den späteren Erklärungen und Schlußfolgerungen vor, die sich auf die Untersuchung des Sonnenkörpers beziehen und insbesondere den Begriff des Sonnenspektrums und die spektroskopischen Methoden erläutern sollen. Einen stark schematischen Querschnitt durch die oberen Sonnenschichten und deren äußere Umgebung stellt Bild 153 dar. Hier ist die Basis gewölbt vorzustellen. Der eigentliche blendende Sonnenkörper ist, wie schon erwähnt, die Photosphäre. Sie wird von einer überaus dünnen, sogenannten „umkehrenden Schicht" umgeben (in Bild 153 nur strichdick), die den Übergang bildet zu der nach ihrer roten Farbe benannten Chromosphäre, d. h. farbigen Schicht, aus der die Protuberanzen hervorschießen. Was über die Chromosphäre herausragt, kann bis zu einem Viertel des Sonnenhalbmessers als „Sonnenatmosphäre" angesehen werden, an die sich dann die Korona anschließt. Koronastrahlen können sich, wenn auch nur ausnahmsweise, bis zum zehnfachen Sonnenhalbmesser erstrecken. Die entsprechenden Kilometergrößen sind folgende:

Photosphärenhalbmesser	= 695 000	Kilometer
Dicke der umkehrenden Schicht	= 500	Kilometer

Höhe der Chromosphäre	= 10 000 Kilometer
Höhe der Atmosphäre	= 170 000 Kilometer
Höchste Protuberanzen	= 600 000 Kilometer
Längste Koronastrahlen	= 10 Millionen Kilometer.

„Sonnenatmosphäre" soll hier nur ein Name für eine willkürlich abgegrenzte Übergangsschicht sein. Mitunter nennt man schon die umkehrende Schicht — nicht mit Unrecht — Atmosphäre.

(7) Temperatur und Dichte. Zählen wir die Celsiusgrade nicht vom Eispunkt an, sondern vom sogenannten absoluten Nullpunkt, der 273 Grad tiefer liegt, so heißt die dieser Zahl entsprechende Temperatur absolute oder Kelvintemperatur. Eine Zimmertemperatur von 20 Grad kann beispielsweise auch als 293 Grad Kelvin angegeben werden. — Die früher angegebene Temperatur der Sonnenoberfläche im Betrage von 5740 Grad Celsius oder rund 6000 Grad Kelvin ist nach später zu erörternden Methoden definiert und ermittelt worden. Temperaturen im Sonneninnern müssen auf Grund irgend einer Annahme über den Aufbau des Sonnenkörpers errechnet werden. Diesbezügliche Zahlen sind daher ganz und gar hypothetischer Natur, ebenso Angaben über die Dichteverhältnisse im Inneren, während wieder Angaben über Temperatur und Dichte an der Sonnenoberfläche als gesichert angesehen werden dürfen. In diesem Sinne, also mit entsprechendem Vorbehalt, soll die folgende Tabelle gelesen werden als Beispiel irgend eines Versuches, sich über die Verhältnisse im Sonneninneren ein Bild zu verschaffen.

Entfernung von der Sonnenmitte in Kilometern	Temperatur in Kelvingraden	Dichte auf Wasser bezogen
Oberfläche	6000	0,000
600 000	2,2 Millionen	0,006
500 000	5,5 „	0,1
400 000	10 „	0,68
300 000	18 „	3,5
200 000	29 „	15
100 000	43 „	47
Mitte	50 „	75

Der Druck, unter dem die Sonnenmaterie steht, muß im Innern nach Millionen von Atmosphären zählen. Für die umkehrende Schicht nimmt man soundso viel hunderttausendstel, für die Chromosphäre bis zu tausendbilliontel Atmosphären an.

(8) Sonne als Gasball. Im Gegensatz zu den festen und flüssigen Zuständen haben in den Gasen die Moleküle und Atome eine weitgehende Bewegungsfreiheit. Sie befolgen bestimmte Gesetze, wie z. B. die sogenannte Zustandsgleichung. Diese besagt, daß bei einem

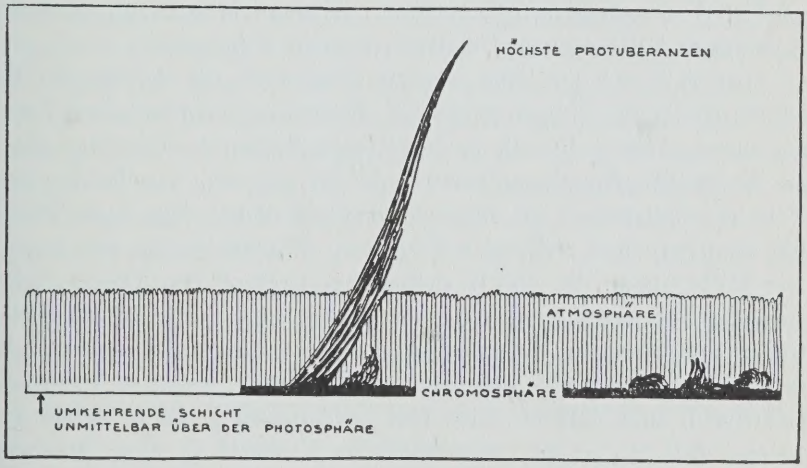


Bild 153. Querschnitt durch die obersten Sonnenschichten und ihre Umgebung. Rohes Schema

bestimmten, abgegrenzt gedachten Gas der Druck, den es ausübt, etwa durch die Anzahl der Kilogramme je Quadratzentimeter ausgedrückt, dieser multipliziert mit der Anzahl der Kubikzentimeter, das Ganze dividiert durch die Anzahl der Kelvingrade der Gastemperatur, immer und immer das gleiche Zahlenergebnis liefert. Trotz des enormen spezifischen Gewichtes und der hohen Drucke im Sonneninneren befolgt nun, wie in der Theorie nahezu allgemein angenommen wird, die Sonnenmaterie eine modifizierte Zustandsgleichung. Wir können uns dies etwa so erklären, daß bei den Temperaturen und Drucken im Sonneninneren der normale Bau der Atome verloren geht und diese in ihre viel kleineren Bausteine zerfallen, so daß diese Bausteine sozusagen die Rolle der Atome übernehmen und als ungleich kleinere Objekte doch

eine sehr weit gehende Bewegungsfreiheit besitzen, wie sie eben einem Gase entspricht.

(9) Grundstoffe. Man hat die Verteilung der chemischen Elemente auf der Sonne zu ermitteln versucht. Das Problem ist mit Rücksicht darauf, daß die irdische Luft für uns selbst in großen Höhen wie eine undurchdringliche Wand viele Lichtarten abschirmt, überaus kompliziert. Es ist anzunehmen, daß nicht nur in den der Beobachtung zugänglichen, oberflächlichen, sondern auch in den tiefsten Schichten Wasserstoff als chemischer Baustoff vorherrscht. Außer ihm gehören Helium, Stickstoff, Natrium, Silizium, Magnesium, Kalium, Kalzium und Eisen zu den meistvertretenen Elementen.

(10) Atombau. Alle Materie, also auch die der Sonne, ist letzten Endes aus Atomen aufgebaut, die sich bei nicht zu hohen Temperaturen, etwa auch noch an den Grenzschichten des Sonnenganzen, zu Molekülen, Atomkomplexen, verbinden können, wie das bei den irdischen Substanzen im allgemeinen der Fall ist. Ein Atom selbst hat man gern und treffend mit unserem Planetensystem verglichen. Die Mitte nimmt das positiv elektrische „Proton" ein. Dieses bildet entweder allein, wie beim Wasserstoffatom, oder mit negativen Elektronen und weiteren Protonen vereint den „Kern" der Atome, um den sich, eben wie die Planeten um die Sonne, negative Planetenelektronen, auch Leucht- oder Hüllenelektronen genannt, derart bewegen, daß sie an die 1000 Billionen Umläufe in einer einzigen Sekunde vollführen. — Man nimmt übrigens an, daß im Kern auch unelektrische Bestandteile, sogenannte Neutronen, sich befinden. Solange alle Hüllenelektronen beisammen sind, hebt deren negative Ladung die des stets positiven Kernes auf. Verliert aber ein Atom ein solches negatives Elektron, dann ist es, gleichsam ein verstümmeltes System, nach außen positiv elektrisch und heißt „ionisiert", bei Verlust von zwei Elektronen doppelt ionisiert usw. — Bei den enormen Temperaturen und Drucken des Sonneninneren geht, wie wir schon erwähnten, der schöne Bau eines normalen, neutralen Atoms vollkommen verloren; und zugleich ist die Sonnenmaterie dort derart zusammengepackt, daß nur schwere Kerne, wohl auch nackte Protonen, dann höchstens beschädigte Atome, sowie insbesondere freie Elektronen zusammen den materiellen Inhalt des Sonneninneren bilden. Zwischen diesen Bestandteilen wirkt eine intensive, energiereiche Strahlung, am ehesten mit den Röntgenwellen vergleichbar.

Für die durchschnittlichen Sekundengeschwindigkeiten der schweren Kerne hat man 100 Kilometer, für die leichten Elektronen 10 000 Kilometer berechnet, während die solaren Röntgenstrahlen mit Lichtgeschwindigkeit vordringen. Veranschaulichen wir diese im planetaren Maßstab, so ergibt sich folgendes Bild: In der Kugel Sonne, $1^1/_3$ Meter im Durchmesser, bewegt sich in jeder Sekunde ein Atomkern um $^1/_{10}$ Millimeter, ein Elektron um 1 Zentimeter und eine Röntgenwelle um 30 Zentimeter vorwärts. Allerdings darf man deshalb nicht annehmen, daß dann z. B. die letztgenannten Wellen gleich nach knapp zwei Sekunden aus dem Sonneninnersten, wo sicher die Hauptenergie erzeugt wird, schon an der Sonnenoberfläche sind. Ganz im Gegenteil! Eine solche Welle wird fortwährend abgelenkt, von irgend einem Partikel, sei es ein Kern oder ein Elektron, reflektiert, wird gehindert und wieder gehindert, so daß es mehr oder weniger ein guter Zufall ist, wenn eine solche Welle schließlich die Oberfläche der Sonne erreicht. Es können ruhig bis 1000 mal 1000 Jahre vergehen, bis so eine Welle das wird, als was wir sie auf der Erde aufnehmen, nämlich ein „Sonnenstrahl".

(11) Strahlung. Die Bahnen der Elektronen sind gequantet, d. h. in ganzzahligen Distanzverhältnissen angeordnet (Bild 154). Das

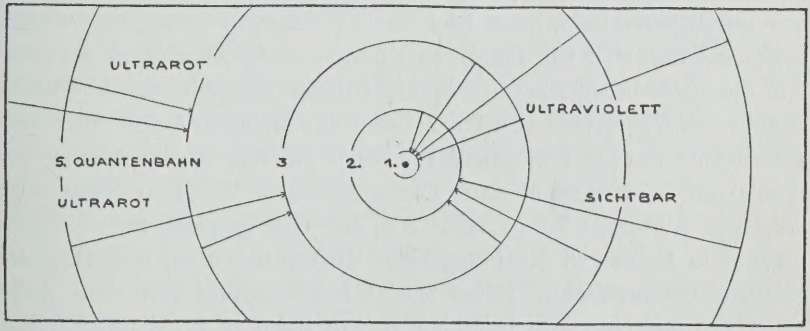


Bild 154. Fünf kreisförmige Quantenbahnen des Wasserstoffatoms. Die Pfeile bedeuten Elektronensprünge. Sie entsprechen den im Schema angegebenen Strahlungsarten.

einfachste Atom ist das des Wasserstoffs. Um die Mitte kann ein Elektron in Kreisen oder Ellipsen laufen, und zwar je nach der vom Atom von außen aufgenommenen Energie, in einer von Natur aus gegebenen ganz bestimmten Einheit entfernt, oder in einer 4-, 9-, 16-,

25mal größeren „mittleren Entfernung". Der Ausdruck deckt sich vollkommen mit dem der Astronomie. So wie im großen im Planetenreich, so laufen im Atom deren Planetenelektronen nicht nur in Kreisen, sondern auch in Ellipsen, und zwar in mittleren Entfernungen, die sich wie die Quadrate der natürlichen Zahlen verhalten. Dementsprechend numeriert man diese „Anregungszustände", je nachdem, ob das Elektron auf seiner 1., 2. oder 3. usw. Bahn zu laufen genötigt ist, als Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3 usw. Theoretisch bilden diese Bahnen eine unendliche Reihenfolge. „Zustand 30" z. B. entspricht einem Durchmesser, der 900mal den des neutralen Atoms übertrifft. Dies besonders stark „angeregte" Atom hätte eine Ausdehnung, die den im Ultramikroskop schon erfaßbaren Gegenständen zukommt. — Ein Atom kann mit einem Kinderluftballon verglichen werden, an dem ein offenes Röhrchen zum Aufblasen — „Anregen" — angebracht ist. Blasen wir Luft hinein, so nimmt der Ballon gleichsam — es ist alles nur ein Bild — „Energie" auf. Zieht sich die Gummihaut zusammen, so stößt der Ball Luft aus. Er gibt gleichsam Energie von sich, der entweichende Luftstrahl versinnbildlicht die Lichtstrahlung des Atoms, oder im weiteren Sinn auch Wärme oder chemische und alle sonstige Energie. In einer Beziehung ist freilich der gemachte Vergleich absolut unbrauchbar. Während der Gummiball alle möglichen Halbmesser und so alle Mengen von Energieinhalt besitzen kann, sind für das durch Energie „aufgeblasene" Atom eben nur die oben beschriebenen Quantenbahnen möglich und überhaupt erlaubt. — Übergänge von einer Bahn zur anderen, die in einer verschwindend kurzen Zeit erledigt werden müssen, bedeuten entweder Aufnahme von gequanteten Energiemengen bei Erreichen einer höheren, weiteren Bahn, oder Abgabe von gequanteten Energiemengen in Form von Strahlung beim Überspringen auf eine zentraler gelegene Quantenbahn. Dabei zeitigt jeder Sprung von einer jeden beliebigen auf eine jede beliebige engere Bahn je einen nicht weiter irgendwie zerlegbaren Strahl. Auf ein und derselben Bahn endende Sprünge erzeugen dabei einheitliche Gruppen gleicher Strahlenarten. In Bild 154 sind nur kreisförmige Quantenbahnen gezeichnet. Sprünge auf die 1. Bahn erzeugen ultraviolette Strahlen, solche auf die 2. Quantenbahn das gewöhnliche Licht, Sprünge auf die 3. und 4. Bahn ultrarote Strahlen, auch infrarote genannt. — Es liefert jede Strahlung nur ganzzahlige Vielfache einer bestimmten Energiemenge,

die durch das sogenannte Plancksche Wirkungsquantum bestimmt ist. Dieses entspricht einer Energie von 0,00655 quadrilliontel Erg. — Außer der Form der Bahn und der Ursprungs- und Endbahn des überspringenden Elektrons sind für die Natur der Strahlung noch Rotations- und magnetische und andere Verhältnisse maßgebend. Will man sich den Bau eines Atoms regelrecht „vor Augen halten", dann empfiehlt sich eine Vergrößerung im Maßstabe „1000 Billionen : 1". Wir wollen diesen den „untermolekularen" nennen. — In einem solchen Modell wird der Wasserstoffkern einige Meter, ein jedes Elektron 3 Meter dick. Erste bis fünfte Quantenbahn erhalten die Durchmesser 110, 440, 990, 1760, 2750 Kilometer, Größen, die am besten an Hand einer Landkarte veranschaulicht werden können. — Für den „Zustand 30" käme als Bahn eine solche von rund 100 000 Kilometern querdurch in Betracht.

(12) Strahlenempfang. Die Strahlung, zum überwiegenden Teil die des Lichts, ist die einzige Vermittlerin zwischen der ganzen kosmischen Außenwelt und uns. Zum Empfang der mannigfaltigen Botschaften dienen zahlreiche instrumentelle Behelfe, in erster Linie Linsen- und Spiegelfernrohre aller Art als Strahlenregulatoren und Strahlenkondensatoren. Photographie, sowie Photometrie oder Lichtmessung, dann Spektroskopie im weitesten Sinn, letztere mit einer großen Anzahl von Hilfspraktiken, sind wichtige Zweige der astrophysikalischen Tätigkeit. — Die Strahlung und deren charakteristische Merkmale werden erkannt, indem man die Strahlen durch geeignete Geräte, wie Prismen und optische Gitter, sendet und zerlegt. Der auffangende Schirm oder die exponierte photographische Platte empfängt dann das sogenannte „Spektrum" des ausgesandten Lichts und der anderen als elektromagnetische Schwingungen erkannten Wellenarten. „Spektralanalyse" im weiteren Sinne besteht im großen und ganzen aus der Erforschung der verschiedenen Spektren und aus Rückschlüssen auf die molekulare und atomare Natur des strahlenden Körpers.

(13) Spektralanalyse. Werden glühende himmlische oder irdische Objekte aller Art spektral untersucht, so können deren Spektren in verschiedene Kategorien geteilt werden, innerhalb derer sich wieder große Mannigfaltigkeit zeigt. Wir unterscheiden Linienspektren, kontinuierliche und gemischte Spektren, bei welch letzteren der kontinuierliche Grund von relativ dunkeln oder relativ hellen

Linien, sogenannten Fraunhoferschen Linien durchzogen ist (Bildtafeln XVII und XVIII).

1) Ein gasförmiger glühender Körper liefert ein Liniensystem, das auf dunklem Grund isolierte helle Linien zeigt. Jedes Element in glühendgasigem Zustand erzeugt seine besonderen, mitunter nach Tausenden zählenden und in Gruppen sich vereinigenden „Emissionslinien", deren jedes einzelne Individuum eben direkt einen Einzelvorgang im Atom andeutet. In der Bildtafel XVII sind Spektrallinien von Blei und Zinn getrennt, dann in einer „Probe" als solche wieder einwandfrei zu erkennen. Dies Herausfinden von chemischen Bestandteilen aus einem Gemenge oder einer Verbindung ist die ursprüngliche Aufgabe der Spektralanalyse. — Ein und dasselbe Element kann je nach der Temperatur und dem Druck, dem es ausgesetzt ist, verschiedene Linien und verschieden kombinierte Liniengruppen zeigen, oder dieselben Linien ganz oder teilweise schwächer oder deutlicher, schmäler oder breiter. So zeigt, um nur ein Beispiel für den Temperatureinfluß zu geben, eine Metallverbindung, in der gewöhnlichen Bunsenflamme verdampft, nur wenige Linien oder deren Häufungen, sogenannte „Banden", die noch unzerstörten Molekülen zuzuschreiben sind. Im heißeren elektrischen Lichtbogen verschwinden die Banden meistenteils. Zunahme des Linienreichtums macht sich geltend. Im noch heißeren elektrischen Funken zersetzte Materie endlich zeigt wieder neue besonders auffällige Linien. Man hat diese Funkenlinien auch die „übertriebenen" genannt. Dabei unterscheidet man das Spektrum des normalen, noch ungestörten neutralen Atoms als Bogenspektrum sehr wohl von dem als Funkenspektrum bezeichneten des ionisierten Atoms, dem ein oder mehrere Elektronen fehlen.

2) Körper in glühendem festen oder flüssigen Zustand, auch Gase in sehr beträchtlicher Verdichtung, geben kontinuierliche Spektren, die man sich aus unzählig vielen Linien, eine an die andere ohne Unterbrechung angereiht, vorstellen muß, so daß die einzelnen Elemente nicht zu erkennen sind.

3) Geht das Licht eines glühenden festen oder flüssigen Körpers durch eine Gasschicht relativ höherer Temperatur, so zeigt das Spektrum, das zunächst nach dem eben aufgestellten zweiten Satz kontinuierlich sein sollte, querdurch als besonders helle Linien diejenigen, die die in der Gasschicht vorhandenen chemischen Elemente, allein leuch-

tend, an und für sich zeigen würden. Es sind helle aufgelagerte „Emissionslinien".

4) Geht das Licht eines glühenden Körpers festen oder flüssigen Zustandes durch eine Gasschicht relativ niedrigerer Temperatur, so zeigt das nach dem zweiten Satz entstehende, ursprünglich kontinuierliche Spektrum ihm aufgelagert, dunkle „Absorptionslinien". Es sind dies diejenigen Linien, die die in der durchwanderten Gasschicht vorhandenen chemischen Elemente, allein leuchtend, hell zeigen würden. Die relativ kälteren Gase absorbieren solche Lichtarten, die sie in isoliertem Zustand emittieren. Es ist dies das Kirchhoffsche Gesetz.

(14) Linieneffekte. Die Linien der Elemente können nach Wellenlängen in Millimikrons, d. h. milliontel Millimetern, oder in Ångströmeinheiten, d. h. zehntel Millimikrons, gemessen und katalogisiert oder graphisch in irgend einem Maßstab festgelegt werden, wobei jede Linie einer bestimmten Wellenlänge gleichsam als unveränderlicher Koordinate entspricht. Doch bewegen sich Linien gelegentlich aus ihrer „Standardlage" oder spalten sich in zwei oder mehr Komponenten. Dabei spielen viererlei Effekte in der Astronomie eine Rolle: der Dopplereffekt, der Zeemaneffekt und zwei weitere, die wir den Gravitationseffekt und den Expansionseffekt der Spektrallinien nennen wollen. — 1) Der Doppler- oder Radialeffekt besteht darin, daß Linien bei gleichbleibender Entfernung „Beobachter-Lichtquelle" zwar ihre Standardlage beibehalten, aber während einer Verkleinerung dieser Entfernung sich nach Violett, während einer Vergrößerung derselben nach Rot verschieben. — Der Radialeffekt ist es z. B., der dem Saturnringproblem in Bild 147 zu Grunde liegt. Die Spektralschemen auf diesem Bild sollen nur roh den Sinn der Dopplerverschiebungen für den Fall eines kompakten und eines aus nicht zusammenhängenden Teilchen bestehenden Ringes anzeigen. — 2) Der Zeemansche Linieneffekt ist folgender: Spektrallinien, deren Lichtstrahl längs magnetischer Kraftlinien läuft, spalten sich in zwei Teile, in ein Duplett. Gehen die erzeugenden Lichtstrahlen senkrecht zu solchen Kraftlinien, dann entstehen aus einer Einzellinie deren drei, ein Triplett. Bei Besprechung der Sonnenflecken werden wir uns dieser Tatsache erinnern. — 3) Der Gravitationseffekt, bei der Sonne kaum, aber an einigen Sternen nachweisbar, besteht darin, daß infolge der Gravitationsverhältnisse in der Umgebung großer leuchtender Massen die von diesen erzeugten Spektrallinien sich nach Rot verschieben. Wir gehen

auf diesen Effekt erst im vierten Teil, in den „Allgemeinen Problemen", ein. — 4) Auch der spektrale Expansionseffekt wird uns erst im eben genannten Abschnitt interessieren. Er ist eine, dem Dopplereffekt vergleichbare, bisher noch nicht endgültig geklärte Linienverschiebung.

(15) Sonnenspektrum. Für unser Auge hat ein dünnes Bündel von Sonnenstrahlen an und für sich keine besondere Farbe. Mit dem Begriff „weiß" geben wir diese unsere subjektive optische Empfindung am besten wieder. Es ist neben zahlreichen anderen Strahlen, beispielsweise Wärme- und chemischen, aus unzählig vielen Lichtstrahlen zusammengesetzt, deren jeder eine durch Elektronensprünge im Atominnern entstandene Welle darstellt. Diese Wellen schwingen 400- bis 800billionenmal je Sekunde hin und her. Die kleinere Zahl gilt für rote, die doppelt so große für violette Strahlen. Je rascher eine Welle schwingt, desto kürzer ist sie. Die Längen der gut beobachtbaren und vollständig erforschbaren Lichtwellen betragen von Violett bis Rot 300 bis 730 Millimikron, d. h. milliontel Millimeter. Der Eindruck, den das Sonnenspektrum zunächst in uns bei ganz oberflächlicher Betrachtung erregt, ist der, daß die „Regenbogenfarben", nämlich „rot, orange, gelb, grün, indigo, violett" kontinuierlich ineinander übergehen. Bei genauem Zusehen jedoch zeigt sich dieser farbige Untergrund als von vielen dunkeln Fraunhoferschen Linien quer durchzogen.

Die „spektrohelioskopische" und die „spektroheliographische" Methode der Sonnenforschung — Bildtafel III, übrigens auch Bildtafel VI — besteht darin, daß man aus dem Sonnenspektrum eine bestimmte wirksame Linie desselben allein dem Auge oder der photographischen Platte aussetzt, indem man das gesamte übrige Spektrum abblendet und den das gewünschte Licht durchlassenden Spalt über den ganzen Sonnenball oder über Teile, insbesondere auch Randteile desselben, hinwegschiebt.

(16) Sonnenlinien und Farben. Aus der Tatsache, daß die Sonne ein Absorptionsspektrum liefert, folgern wir, daß das Licht ihrer Photosphäre, die als Gasgemenge verschiedenster Elemente wie ein glühendflüssiger oder fester Körper den farbigen Untergrund des Spektrums liefert, bei der Durchdringung der relativ kälteren „umkehrenden Schicht" die in den Fraunhoferschen Linien sich äußernden Absorptionen erleidet. Von den im Laboratorium erzeugbaren spek-

tralen Eisenlinien z. B. konnten über 3000 im Sonnenspektrum identifiziert werden. Allerdings nimmt auch die irdische Atmosphäre an der Absorption teil, doch sind die von ihr herrührenden Linien daran zu erkennen, daß sie bei Sonnentiefstand, wenn die Sonnenstrahlen lange Wege in der irdischen Luft zu durchmessen haben, kräftig, bei Sonnenhochstand dagegen entsprechend schwach oder nahezu unkenntlich erscheinen. Auch nehmen diese „tellurischen Linien" am Radialeffekt des Sonnenrandes nicht teil. — Die Tabelle hier gibt für die auffälligsten Sonnenlinien deren Zugehörigkeit zu einem Farbgebiet, deren allgemeine Bezeichnung sowie die Wellenlänge der sie erzeugenden Lichtschwingungen in Millimikron und einen Hinweis auf den Ursprung der betreffenden Lichtwelle.

Farbe	Linie	Wellenlänge in Millimikron	Ursprung
Rot	A	759	tellurischer Sauerstoff
	B	687	tellurischer Sauerstoff
	C	656	Wasserstoff
Gelb	D	590, 589	Natrium
Grün	E	527	Eisen und Kalzium
	b	518	Magnesium
Blau	F	486	Wasserstoff
	G	434 (431)	Wasserstoff (und Eisen)
Violett	h	410	Wasserstoff
	H	397	Kalzium ionisiert
	K	393	Kalzium ionisiert

Die Linien C, F, G 434 und h heißen auch, in dieser Reihenfolge, die Alpha-, Beta-, Gamma- und Deltalinien des Wasserstoffes. Will man den Eindrücken satter Farben bestimmte Wellenlängen in Millimikron zuordnen, so kann folgende Reihe gelten: Rot 683, Orange 615, Gelb 559, Grün 512, Zyanblau 473, Indigo 439, Violett 410. — Bei Verzicht auf große Genauigkeit lassen sich für die Schwingungsfrequenz folgende Zahlen für die einzelnen Farben angeben: Rot 450, Orange 500, Gelb 550, Grün 600, Blau 650, Indigo 700, Violett 750 Billionen Schwingungen je Sekunde. Numerieren wir sieben Grundfarben des Spektrums in der Richtung der steigenden Schwin-

gungszahlen wie folgt: Rot = 1, Orange = 2, Gelb = 3, Grün = 4, Blau = 5, Indigo = 6, Violett = 7, so läßt sich die Schwingungszahl für jede dieser Farben, Billionen Schwingungen als Einheit genommen, dadurch feststellen, daß man die Farbennummer mit 50 multipliziert und 400 dazuzählt. So hat z. B. Grün angenähert $4 \times 50 + 400$, das sind 600 Billionen Schwingungen je Sekunde. Bei Annäherung der Lichtquelle verdichten sich als Dopplereffekt gleichsam die Wellen ein und desselben Wellenzuges. Sie schwingen rascher, werden „violetter", die Wellenlängen dabei kürzer. Einer derartigen Verkürzung oder Verlängerung der Wellenlänge um ihren 10 000sten Teil entspricht eine Annäherung oder Entfernung der Lichtquelle mit 30 Sekundenkilometern.

(17) Effektive Temperatur. Eine reflexlos gedachte Seifenblase läßt die Strahlen, die auf sie auftreffen, durch, die silberne Kugel eines Thermometers spiegelt sie alle zurück. Eine Kugel aus Pech, die außerdem mit Ruß überzogen ist, läßt Strahlen weder durch, noch reflektiert sie diese, sondern sie absorbiert alle in sich. Ein Körper, der diese letztere Eigenschaft in vollkommener Weise besitzt, heißt ein „schwarzer Körper". Er führt diesen Namen auch dann, wenn er, erhitzt, weißglühend leuchtet. Die Eigenschaften derartiger schwarzer Strahler sind im Laboratorium vielfältig erforscht und Zusammenhänge zwischen der Kelvintemperatur solcher Körper und der von ihnen ausgestrahlten in Grammkalorien meßbaren Strahlung aufgedeckt worden. Wäre die Sonne eine derartige Masse, daß sie wie ein schwarzer Strahler wirkt, dann könnten wir die auf Grund der Versuche gefundenen Gesetze unmittelbar auf die Sonne anwenden. Nun sind wir aber darüber nicht unterrichtet, in welchem Maße diese unsere Vorstellung von unserer Sonne als schwarzem Körper richtig ist, und müssen uns deshalb mit einer Hilfsdefinition begnügen. Wir berechnen die Oberflächentemperatur der Sonne, als ob diese letztere eben ein „schwarzer Körper" wäre und nennen diese Temperatur die „effektive Temperatur" der Sonnenoberfläche. Die Definition ist nichts anderes als ein Notbehelf, aber sie läßt an Exaktheit wenig zu wünschen übrig.

(18) Strahlungsgesetze. Die Strahlung eines leuchtenden Objektes, wie die Sonne eines ist, kann dadurch ermittelt werden, daß wir von der Lichtquelle zunächst ein Spektrum erzeugen. Wird durch alle Farben des Spektrums, auch durch Ultrarot und Ultraviolett, ein

schmaler in einen Stromkreis eingeschalteter Metallstreifen parallel zu sich selbst hindurchbewegt, dann wird dieser Metallstreifen verschieden stark bestrahlt und ändert seinen elektrischen Widerstand. Aus diesem aber läßt sich auf die jeweils in den einzelnen Spektralbereichen aufgenommene Energiemenge und damit auf die dem

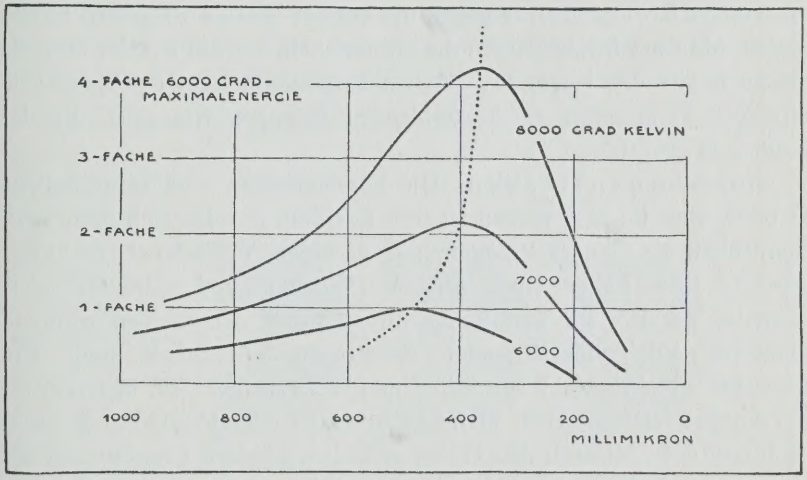


Bild 155. Spektrale Energiekurven auf Grund des Planckschen Strahlungsgesetzes. Die punktierte Linie deutet die Verschiebung des Energiemaximums bei wachsender Temperatur an (Verschiebungsgesetz). 1 Millimikron = 1 milliontel Millimeter.

Spektralbereich innewohnende Gesamtenergie schließen. Eine solche Vorrichtung nennt man ein Bolometer. Nun besteht zwischen der Länge einer bestimmten Licht- oder Wärmewelle, deren Energie, die in Grammkalorien je Sekunde gemessen werden kann, und der effektiven Kelvintemperatur des ausstrahlenden Körpers ein Zusammenhang, das sogenannte Plancksche Strahlungsgesetz. — Es ist in Bild 155 graphisch veranschaulicht. Wird, beispielsweise bolometrisch, für einen Körper, dessen effektive Temperatur zunächst unbekannt ist, die spektrale Energiekurve gefunden, die einer der drei im Bild gezeichneten krummen Linien entsprechen mag, dann ist die Kelvintemperatur des untersuchten Körpers an dieser Kurve abzulesen. — Dem Sonnenspektrum entspricht die unterste der drei eingetragenen Energiekurven. Als Kelvintemperatur gibt hiernach die graphische Dar-

stellung 6000 Grad. Dabei liegt das Energiemaximum der Sonnenstrahlung bei etwa 480 Millimikron, also im Zyanblau. — Zur Temperatur 7000 Grad gehören bedeutend größere Energiebeträge, und noch größere zur Temperatur 8000 Grad. Verdreifacht sich die Energie, so ist die Temperatur $3 \times 3 \times 3 \times 3$mal, d. h. 81mal höher. Dabei wandert das Energiemaximum, wie die punktierte Kurve zeigt, mit steigender Temperatur gegen die kurzen Wellen zu, gegen Ultraviolett. Man hat infolgedessen die Möglichkeit, sowohl aus der Energie als auch aus der Lage des Intensitätsmaximums im Spektrum die effektive Temperatur eines strahlenden Körpers, wie z. B. die der Sonne, zu ermitteln.

(19) Sonnenflecken. Die Sonnenflecken sind veränderliche Gebilde, aber im allgemeinen ist ihre Position, auf den sich drehenden Sonnenball als Ganzes bezogen, nur geringen Veränderungen unterworfen. Ihre Lebensdauer erreicht Wochen und mitunter viele Monate, so daß sie der Beobachtung unter Umständen während mehrerer aufeinanderfolgender Rotationen zugänglich sind. Ein typischer Fleck besteht aus dem dunkeln Kern und dem helleren, oft streifig gezeichneten Hof, auch Halbschatten oder Penumbra genannt (Bildtafel V). Mitsamt den Höfen erreichen Flecken Durchmesser bis zu 300 000 Kilometern. Mitten in der Sonnenscheibe sind Flecken von 40 000 Kilometern, also drei Erddurchmesser groß, schon mit freiem Auge — ein Dunkelglas als Schutz verwendet — sichtbar, da sie unter einem Winkel von etwa einer Bogenminute erscheinen. Die Dunkelheit des Kernes ist als Kontrastwirkung zu deuten. — Bei den Vorübergängen des Merkur vor der Sonnenscheibe konnte dessen wirklich absolut keine Lichtstrahlen aussendende Nachtseite mit dem Ton der Flecken verglichen werden. Ein dunkler Fleck hat immerhin bis zu 10 Prozent der Photosphärenhelligkeit. Mitunter schlagen helle Massen „Brücken" über einen Fleckenkern. Bildtafel II zeigt Flecken in einer ganzen Fleckengruppe vereint. — Ein normaler Fleck, der am linken, am Ostrand der Sonne erscheint, dann nach einer knappen Woche den von Sonnenpol zu Sonnenpol durch die Scheibenmitte gehenden „Zentralmeridian" der Sonne passiert, schließlich am rechten Rand unseren Blicken entschwindet, zeigt im allgemeinen regelmäßige Formveränderungen, aus denen man auf trichterartige Vertiefungen im Sonnenniveau schließen könnte, deren Boden — das Kerngebiet — dunkle, deren flacher Trichterrand

— der Hof — hellere Tönung besitzt. So hat man Vertiefungen von 6000 Kilometern nachweisen wollen. Doch ist es nicht sicher, daß der Kern wirklich immer tiefer liegt als das allgemeine Niveau. Insbesondere sind nach der Art der oft spiraligen Streifung der Halbschatten die Sonnenflecken als enorme Wirbel anzusehen, die die leichten Sonnengase umrühren (Bildtafel IV). Es kann als erwiesen gelten, daß die Flecken eine um vielleicht 1000 Grad niedrigere Temperatur besitzen als die Photosphäre, daß sie aufsteigende Ströme heißer Gasmassen sind, die die Bildung der Fackeln verursachen mögen. Die

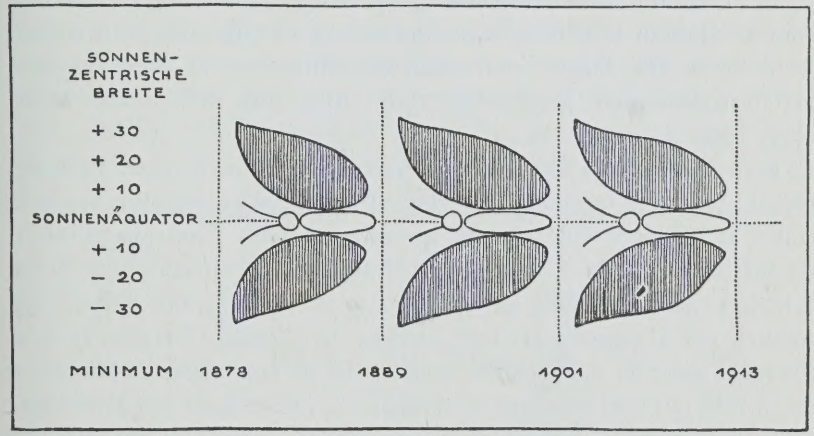


Bild 156. Schmetterlingsphänomen in der Sonnenfleckenstatistik. Die schraffierten Flächen zeigen Zu- und Abnahme der Fleckenhäufigkeit und sich verändernde Lage zum Sonnenäquator an.

obengenannten Wirbel führen vermutlich Elektronen, die aus dem Sonneninneren herausgeschleudert wurden. Sie umkreisen den Schlund des Sonnenflecks nach Art eines elektrischen Stromes in einer Drahtspule. So wie bei diesem Vorgang aus der Spulenachse magnetische Kraftlinien strömen, so sendet auch ein Sonnenfleck mächtige Kraftlinien aus, die selbst unsere 150 Millionen Kilometer entfernten irdischen Magnetnadeln beeinflussen und in direktem Zusammenhang mit den Polarlichtern stehen.

(20) Relativzahlen. Um eine Zahl für den jeweiligen Fleckenreichtum der uns zugekehrten Sonnenhalbkugel zu haben, müßte die Fläche eines jeden Flecks mühsam ausgemessen und dann die gesamte Summe etwa in Teilen der ganzen Scheibe angegeben

werden. Statt dessen gibt man gewöhnlich die sogenannten Wolfschen Relativzahlen an: Man zählt die Gruppen und alle Einzelflecken sowohl innerhalb als auch außerhalb der Gruppen. Dann gibt die Summe „Zehnfache Gruppenanzahl plus Anzahl aller Einzelflecken" ein gutes Bild vom Fleckenzustand der Sonne. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die so erhaltenen Zahlen mit denen sehr gut übereinstimmen, die man durch direktes Ausmessen erhält. — Die Statistik der Fleckenhäufigkeit weist im sehr großen Durchschnitt einen etwa 11jährigen Zyklus auf, innerhalb dessen die Fleckentätigkeit von einem Minimum, mitunter auch fleckenlosen Zustand, im Verlaufe von etwa 4½ Jahren zu einem Fleckenmaximum ansteigt, um dann wieder in weiteren 6½ Jahren zum nächsten Minimum zu kommen. Die letzten fleckenarmen Jahre waren 1901, 1913, 1923, fleckenreiche 1906, 1917, 1928.

(21) Schmetterlingsphänomen. Die Flecken sind zunächst auf zwei nördlich und südlich vom Sonnenäquator liegende Zonen zwischen 5 und 30 Grad sonnenzentrischer Breite beschränkt. Sie entstehen während der Zeit des Minimums in hohen Breiten dieser Zonen, wandern auffällig gegen den Äquator, indem ihre Anzahl allmählich ein Maximum erreicht, streben dann immer langsamer dem Sonnenäquator zu und nehmen gleichzeitig bis zum nächsten Minimum ab. In Bild 156 sind von links nach rechts die Zeiten samt den Minimumjahren aufgetragen. Zu den einzelnen Zeiten sind rein schematisch um so längere vertikale Striche in Form von Schraffen gezogen, je mehr und je ausgiebigere Flecken zu den bestimmten Zeitpunkten beobachtet wurden, und die Lage dieser vertikalen Striche ist relativ zum Sonnenäquator der wirklichen Beobachtung entsprechend gezeichnet, so daß man die sonnenzentrischen Breiten aus den Zahlenangaben links am Rand erkennen kann. Das Diagramm zeigt Lappen, die bei gutem Willen als mnemotechnisch verwertbare Schmetterlingsflügel angesehen werden dürfen. Die Zu- und Abnahme der Häufigkeitszahl sowie die Neigung, vom ursprünglichen Entstehungsort äquatorwärts zu wandern, ist aus dem Bilde unmittelbar zu ersehen.

(22) Halescher Zyklus. Mit der 11jährigen Periode hängen die Intensitätsschwankungen des Erdmagnetismus unmittelbar zusammen. Die Intensität des Erdmagnetismus ändert sich für bestimmte Orte nicht nur mit dem Hoch- und Tiefstand der Sonne am

ruhenden Himmel, sondern auch in 11jähriger Periode. Auch zeigen Sonnenfleckenhäufigkeit und Häufigkeit des Nordlichtes ausgesprochenen Gleichlauf. Doch ist ein Einfluß auf die Witterung, so sicher er an und für sich bestehen muß, aus dem sehr komplizierten Zahlenmaterial noch nicht so klar herausgeschält worden, daß man Gesetze astronomischer Prägung aufstellen könnte. — Dagegen besteht ein merkwürdiger Zusammenhang zwischen Nord- und Südmagnetismus innerhalb der einzelnen Fleckengruppen und eine Wechselwirkung zwischen dem Magnetismus der Nord- und der Südhalbkugel der Sonne. — Man beschreibt in jedem magnetischen Körper — sei es ein Hufeisenmagnet auf dem Vortragstisch oder der Magnet Erde oder der Magnet Sonne — den Verlauf seiner Kraftlinien derart, daß diese beim nordmagnetischen Pol aus dem Körper aus- und im südmagnetischen Pol in ihn eintreten, um im Körperinneren wieder den Weg zum magnetischen Nordpol zu finden. Es ist

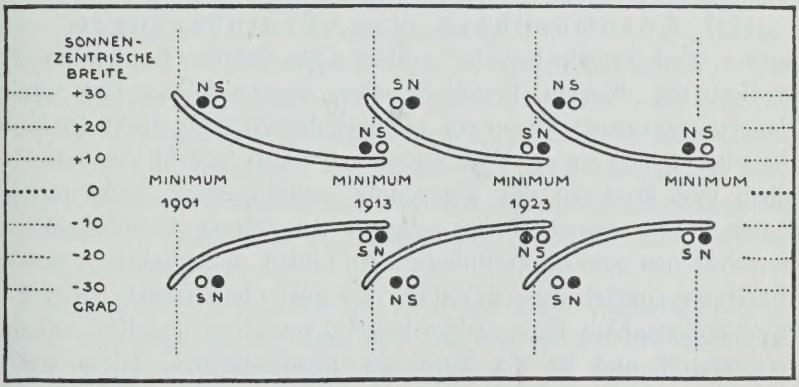


Bild 157. Halescher magnetischer Sonnenfleckenzyklus. N und S bedeuten typische nord- und südmagnetische Sonnenflecken. Gesamtperiode 23 Jahre

nun möglich, aus der physikalischen Untersuchung der von den Flecken ausgestrahlten Lichtart, d. h. aus den Aufspaltungen der Spektrallinien — aus dem Zeemaneffekt — auf die magnetische Polarität der Flecken zu schließen und zu erkennen, ob sie uns nord- oder südmagnetische Pole zukehren und so den Verlauf der Kraftlinien im magnetischen Feld des Sonnenkörpers zu ermitteln und für die einzelnen Flecken anzugeben. In Bild 157, dessen Anordnung der vom Bild 156 entspricht, sind Flecken als nord- und südmagnetische be-

zeichnet. Die bumerangähnlichen Streifen ersetzen gleichsam die „Schmetterlingsflügel". Doppelflecken kommen sehr häufig vor, auch können im großen und ganzen bei größeren Fleckengruppen leicht ein „führender", d. h. in der Richtung der Sonnenrotation voraneilender Fleck und ein geführter ermittelt werden. Bildtafel IV zeigt zwei derartige Flecken verschiedener Polarität noch im Porenzustand. Ist ein führender, wie links oben in Bild 157 der zweite, ein Südpol, dann bleibt er es die ganze 11jährige Periode hindurch von einem bis zum kommenden Minimum, dann aber werden die Rollen vertauscht. Im neubeginnenden Zyklus führt „Nord" den ganzen Zyklus hindurch und erst nach dem abermaligen Minimum ist derselbe magnetische Bewegungszustand da wie zu Beginn. Was auf der nördlichen Sonnenhalbkugel vor sich geht, geschieht analog auf der südlichen, nur sind gleichzeitig „Nord und Süd" und „Süd und Nord" miteinander vertauscht. Jedenfalls liegt ein 22- bis 23jähriger Zyklus vor. Die innere Ursache dieses magnetischen Sonnenrhythmus ist nicht bekannt.

(23) Chromosphäre und Protuberanzen. Die äußere „umkehrende Schicht" enthält Gase tieferer Temperatur und erzeugt die dunkeln Fraunhoferschen Sonnenlinien. Bei totalen Sonnenfinsternissen, knapp vor und nach der Totalität, deckt der Mond die Photosphäre zu, die Gase der umkehrenden Schicht leuchten dann allein und erzeugen das sogenannte „aufblitzende" Spektrum mit lauter hellen, feinen Emissionslinien. Aus dieser Eigenschaft, die gewöhnlichen dunkeln Fraunhoferschen Linien „umzukehren", stammt ihr Name „umkehrende Schicht". Sie geht ohne scharfe Grenze in die Chromosphäre über. Diese besteht vor allem aus Kalzium und Wasserstoff und ist die Basis der Protuberanzen. Diese wieder sind — haufen- oder nebelartig, dann wieder auch strahlig — dauernde oder in Unterbrechungen erfolgende Erhebungen aus dem Chromosphärenniveau. Sie kommen auf der ganzen Sonnenoberfläche vor, können aber vorteilhaft nur dort beobachtet werden, wo sie sich auf den relativ dunkeln Himmelsgrund projizieren, den Sonnenrand entlang. Totale Sonnenfinsternisse sind gleichsam die privilegierten Gelegenheiten zu ihrer Beobachtung. Die Bildtafeln VI und VII, oben, zeigen Photographien schöner Protuberanzen. Über Einteilung, Bewegungszustand, Vorkommen, Dauer und das Spektrum der Protuberanzen gibt die Tabelle hier Auskunft.

Art und Bewegungszustand	Vorkommen	Dauer	Spektrum
Wasserstoffprotuberanzen (fast ruhend)	auf der ganzen Sonne	Tage und Wochen	Chromosphärenspektrum, im wesentlichen Wasserstofflinien, auch Kalzium, Helium
Metallische Protuberanzen (eruptiv)	nur in der Fleckenzone	Minuten, selten mehr als 2 Stunden	im wesentlichen auch Metallinien

Die himbeerfarbig erscheinenden Protuberanzen bestehen aus Wasserstoff oder aus Metalldämpfen, und es zeigen besonders die Metallprotuberanzen örtliche Zusammenhänge mit den Sonnenflecken. Es konnten schon Protuberanzen bis zur Ausdehnung eines Sonnenhalbmessers gesehen werden. Die Veränderung geht besonders bei den radial schießenden sehr rasch vor sich. Wenige Minuten verändern schon ihr Aussehen. Während die Flecken innerhalb ihrer Königszonen zwei besonders reiche Gebiete aufweisen, bevorzugen die Protuberanzen im ganzen vier Stellen, zwei in den Flecken-, zwei in den Polgegenden.

(24) Korona. Die zur Sonne gehörige Materie erstreckt sich in unmeßbar geringer Dichte auch über den Bereich der Protuberanzen in den Weltenraum hinaus, und zwar in der Form der Korona, dem Sinnbild aller totalen Sonnenfinsternisse (Bildtafel VII). Ihren Sitz hat die Korona ebenso wie die sie auszeichnenden dünnen Koronastrahlen in der tiefsten Atmosphäre der Sonne. Es ist schon ein Strahl von mindestens 10 Millionen Kilometern nachgewiesen worden, was dem siebenfachen Sonnendurchmesser entspricht. Das Leuchten der Korona ist zum Teil wohl auf Reflex der Sonnenstrahlen zurückzuführen, doch ist es seinem eigentlichen Wesen nach noch nicht vollkommen erklärt. — Es ist möglich, auch außerhalb der Momente totaler Sonnenfinsternisse Form und Ausdehnung der Korona nachzuweisen, und zwar vor allem durch Bestimmung der sogenannten Polarisation des Koronalichts. — Unter Polarisation verstehen wir

hier folgendes: Die Wellen eines gewöhnlichen Lichtstrahles schwingen in allen Richtungen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Strahles. Reflexion, Brechung und andere Vorgänge bewirken aber, daß eine oder mehrere Ebenen, in denen die Lichtschwingungen vor sich gehen, bevorzugt werden. Man nennt in diesem Falle das Licht polarisiert und kann Art und Grad derartiger Polarisationen instrumentell bestimmen und dadurch — wie man es z. B. bei Koronabeobachtungen zu tun versucht — Rückschlüsse auf den strahlenden Gegenstand ziehen.

(25) Zodiakallicht. Als räumliche Fortsetzung der Korona, wenn auch nicht weiter unmittelbar mit dem Sonnenkörper zusammenhängend, kann das Tierkreis- oder Zodiakallicht gelten (Bildtafel XV, unten), dessen Materie wir als aus einer Unsumme kleiner und kleinster Körper, sogenannter Meteorite, zusammengesetzt denken müssen, wie wir sie etwa schon vom Saturnring her kennen, und wie sie uns später im Abschnitt „Meteore" begegnen werden. Ihre Verteilung ist außerordentlich schütter, eine Bestimmung ihrer überaus geringen Gesamtmasse ist bisher nicht gelungen. Wir sehen die Partikel im reflektierten Sonnenlicht leuchten, so wie wir im Vortragssaal den Luftstaub in der Lichtbahn des Projektors sehen. Die Erscheinung ist vor allem in den Tropen, aber auch in höheren geographischen Breiten sichtbar, und zwar am besten im Frühling bis in den Mai hinein am westlichen Abendhimmel, im Herbst im Oktober am östlichen Morgenhimmel, und zwar längs der Ekliptik. Es sind die Zeiten, wo diese ihre Hochlage hat. Zur Beschreibung des Tierkreislichts legen wir um die Sonne eine ellipsenähnliche Figur — zunächst mit der Längsachse in der Ekliptik liegend — mit den Halbachsen 90 und 45 Grad. Dann entspricht die von der Figur eingeschlossene Fläche etwa dem Teil des Himmels, der durch seine Helle — bisweilen auffälliger als die der Milchstraße — das Tierkreislicht darstellt. Wegen des Horizontdunstes kann dieser zarte Lichtschein allerdings nur dann gut wahrgenommen werden, wenn seine Achse recht steil steht, wie es eben bei uns nur zu den angeführten Zeiten der Fall ist. Die schräge Lichtpyramide wurde auch schon die „falsche Dämmerung" genannt. Sichere Merkmale dafür, daß man es wirklich mit dem Tierkreislicht zu tun hat — wir beschränken uns auf die Abendbeobachtung in unseren Breiten im März und April, und setzen klare Luft in mondfreier Zeit voraus — sind folgende: 1. Die Hellig-

keit ist mindestens so groß, wie die des um diese Zeit rechts vom Zodiakallicht aufrecht stehenden Milchstraßenzuges. 2. Die helle Fläche des Zodiakallichts bildet bei abgegrenzter, in den Horizont fallender Grundlinie ein spitzes Dreieck mit schräger Achse, die mit dem Horizont links einen spitzen Winkel, eben der Steilheit der Ekliptik entsprechend, einschließt. 3. Unmittelbar links und rechts von der „Lichtpyramide" ist der Himmelshintergrund bedeutend dunkler als innerhalb der Pyramide, eine Erscheinung, die sie von der Dämmerung und vom Lichtschein irdischer Herkunft wesentlich unterscheidet, dessen Helligkeit sich am Horizont ohne rechten Kontrast nach links und rechts allmählich verliert. — Die Materie des Tierkreislichts reicht, von der Sonne ausgehend, bis weit über die Erdbahn hinaus. Wir müssen uns den etwa mit einem sehr flachen Rotationsellipsoid vergleichbaren Zodiakalkörper längs zweier Kreise, etwa längs der Erdbahn und längs der Marsbahn, verdichtet vorstellen, so daß wir zutreffend auch mit zwei um die Sonne gelegten ringförmigen Körpern die Form des Ganzen zu beschreiben vermögen. Die eingangs gegebenen Grenzen von 90 Grad in Ekliptiklänge und 45 Grad in Ekliptikbreite sind als rein optische Grenzen ziemlich willkürlich. Man hat eine, das Tierkreislicht fortsetzende Erhellung des Himmelsgrundes überall, am ganzen Himmel, nachweisen können. Insbesondere verbindet ein „Zodiakalband" die beiden „Spitzen" der eingangs geschilderten Morgen- und Abendpyramiden über den Nachthimmel hinweg. In Opposition zur Sonne ist dieses Band wieder besonders hell. Es heißt zodiakaler „Gegenschein". Die außerordentlich fein verteilte Materie des Zodiakallichts ist Gravitationswirkungen der Planeten Erde, Venus und besonders Jupiters ausgesetzt. So liegen die Hauptsymmetrieflächen des ganzen Gebildes nicht genau in der Ekliptik, sondern in der Bahnebene Jupiters, passen sich übrigens den schiefen Bahnlagen Merkurs, der Venus und der Erde an. — Soviel steht jedenfalls fest, daß der eine, innere, der beiden erwähnten Zodiakalringe innerhalb der Erdbahn läuft und das Morgen- und Abendlicht liefert, während der andere, äußere, 2,4 astronomische Einheiten von der Sonne entfernt, den zodiakalen Gegenschein erzeugt.

VIERTER ABSCHNITT
MONDBAHN

Umlaufszeiten / Bahn um die Erde / Bahn um die Sonne / Bahnneigung und Knotenrücklauf / Apsidenumlauf / Evektionskreis / Elastizität der Bahn / Begriff der Störung / Mondstörung / Jährliche Gleichung / Variation und parallaktische Gleichung / Evektion / Drehungsverhältnisse der Apsidenlinie / Periodische und säkulare Störungen

(1) Umlaufszeiten. In Schlagworten ausgedrückt ist der siderische Umlauf des Mondes der „von Stern zu Stern", der synodische der „von Sonne zu Sonne", der tropische endlich der „von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt". Die für die verschiedenen Umlaufszeiten im ersten, sphärischen Teil gegebenen Zahlen gelten selbstredend auch hier bei der „räumlichen" Betrachtung der Mondbahn, nur wollen wir alle Umlaufszeiten erdzentrisch messen. Die Zahlen im Mondabschnitt des ersten Teiles sind tatsächlich schon erdzentrisch eingestellt. Der synodische Umlauf zunächst ist um rund

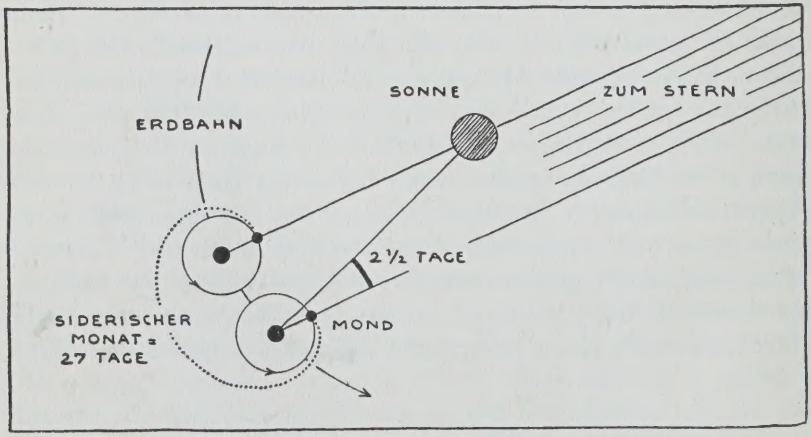


Bild 158. Siderischer Monat, 2½ Tage kürzer als der synodische Monat. Die punktierte Linie ist keine Bahn, nur ein schematischer Wegweiser.

2½ Tage länger als der siderische. Bild 158 erinnert in seiner Art an Bild 98, nur läuft im letztgenannten Bild ein Erdort, hier in Bild 158 der Mond um die Erdmitte. Es sind zwei Mondbahnkreise gezeichnet, um die „Erde heute" und um die „Erde nach 27 Tagen". In der ersten Stellung liegen Erde - Mond - Sonne und ein bestimmter Stern in gerader Linie, in der zweiten bilden nur Erde, Mond und Stern eine Gerade. Ein siderischer Umlauf von 27 Tagen ist eben zu Ende. Es benötigt aber die Erde noch 2½ Tage, bis Erde - Mond - Sonne wieder die Neumondstellung haben, wie 29½ Tage vorher. Die punktierte Krummlinie gibt auch hier durchaus nicht etwa den Weg des Mondes an, sondern soll nur Start und Ziel schematisch verbinden.

(2) Bahn um die Erde. So wie wir im zweiten Teil die Erdbahn aus einem anfänglich angenommenen Kreis mit Erfolg in eine Ellipse überführten, so wird zunächst auch beim Mond ein Ersatz für die Kreisbahn angestrebt werden müssen. Die größte Unregelmäßigkeit, von einem Betrag bis über 6 Grad vor und zurück, die „Mittelpunktsgleichung", wird erklärt, wenn wir statt des Kreises eine Ellipse als Mondbahn einführen, in deren einem Brennpunkt die Erde steht. Dann ist der Mond in der Erdnähe oder im Perigäum der Erde einmal näher, ein andermal, in der Erdferne oder im Apogäum, von der Erde weiter entfernt. So wird die Pulsation der Mondscheibe wie die der Sonnenscheibe zu einer perspektivischen Angelegenheit. Die durch Erdnähe und Erdferne gehende Gerade heißt auch hier, wie die entsprechende Linie bei der Erdbahn, Apsidenlinie, ihr begrenztes Stück innerhalb der Mondbahn ist die Apsidenlinie im engeren Sinn. — Zur zahlenmäßigen Beschreibung der Mondellipse gehören vor allem folgende Angaben:

Mittlere Entfernung Erde - Mond	=	384 000 Kilometer
lineare Exzentrizität	=	21 000 Kilometer
kleinste Mondentfernung	=	363 000 Kilometer
größte Mondentfernung	=	405 000 Kilometer
mittlere numer. Exzentrizität	=	0,055.

Die mittlere Entfernung mißt genau 60,3 äquatoriale Erdhalbmesser. Besonders die kleinste und größte Mondentfernung, hier nur Durchschnittswerte aus vielen Mondumläufen, erfahren mitunter beträchtliche Änderungen. Der Mond kann der Erde bei Erdnähe tat-

sächlich noch um 7000 Kilometer näher kommen, bei Erdferne noch um 2000 Kilometer weiter von ihr stehen. Es sind demnach:

ausnahmsweise kleinste Mondentfernung = 356 000 Kilometer
ausnahmsweise größte Mondentfernung = 407 000 Kilometer.

Dieselbe Zeichnung, die uns die wahre und mittlere Anomalie der Erde in ihrer elliptischen Bahn um die Sonne veranschaulichen sollte, kann auch für einen wahren und mittleren Mond Anwendung finden (Bild 107). Die Mittelpunktsgleichung ist auch beim Mond nichts anderes als der Unterschied „wahre minus mittlere Anomalie", wobei beide Anomalien vom Perigäum aus als dem Ort des Pulsationsmaximums gezählt werden. Teilen wir die Strecke Erde-Mond, für die wir rund 30 Erddurchmesser nehmen wollen, in 10 gleiche Teile, dann liegt ein solches Zehntel vom Mond gegen die Erde zu entfernt ein sogenannter neutraler Punkt. Ein Körper wird hier von Mond und Erde gleich stark und in direkt entgegengesetzter Richtung angezogen, ist also relativ zu diesen beiden Körpern in Ruhe. Es läßt sich dies so beweisen: Die Erde ist von diesem neutralen Punkt neunmal weiter entfernt als der Mond. Infolgedessen würde die Erde einen in ihm befindlichen Körper nach den Gravitationsregeln 81mal weniger stark anziehen, als es der Mond tut, wenn Mond und Erde gleiche Masse hätten. Nun hat aber die Erde gerade eine 81mal größere Masse als der Mond, infolgedessen zieht sie den genannten Körper doch wieder ebenso stark an, wie der Mond.

(3) Bahn um die Sonne. Die Erde ist ein Planet. Diesen Namen geben wir allen um die Sonne als Zentralgestirn kreisenden Weltkörpern. Nur Kometen und Meteore sind von dieser Benennung ausgenommen. Mit dem Namen Mond belegen wir allgemein die Körper, die um irgend einen Planeten kreisen. Der Hauptvertreter dieser Gattung, nach dem die anderen Planetenmonde ihren Sammelnamen erhielten, ist eben unser Erdmond. Er kreist im Verlaufe von rund vier Wochen um die Erde, die wieder in 365 Tagen um die Sonne läuft und den Mond mitnimmt (Bild 159). Es kreist also auf diese Weise auch der Mond um die Sonne und hätte deshalb der Definition gemäß auch das Recht, als „Planet" bezeichnet zu werden. — Die kleinen Kreise in Bild 159 bedeuten die „momentanen" Mondbahnen um die Erde. Die Erde selbst ist nicht gezeichnet. Die wie ein Stein im Fingerring hervorstehenden Punkte entsprechen den Mond-

stellungen bei den Hauptphasen und deren Zwischenstellungen. Die Mondbahn relativ zur Sonne ist die diese Punkte verbindende Linie. Sie ist maßstäblich gezeichnet und unterscheidet sich auf den ersten Augenblick kaum wesentlich von der Erdbahn. Der Mond steht — wie in Bild 159 — in Neumondstellung sonnseitig auf der hohlen Seite, in Vollmondstellung auf der anderen, der erhabenen Seite der Erdbahn. Er „schlängelt" sich also leicht hin und her, aber die Welle dieser Linie ist sehr langgestreckt. Im Verhältnis zu dem großen

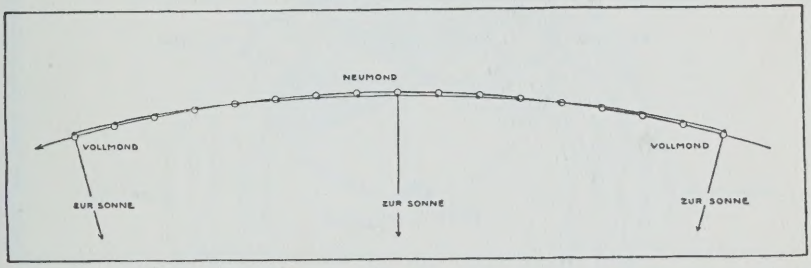


Bild 159. Mondbahn um die Sonne. Die vielen kleinen Kreise bedeuten momentane Mondbahnen um die Erde. Die Mondbahn um die Sonne ist in allen Punkten auf der Sonnenseite hohl.

Bogenstück, das die Erde während eines Mondumlaufes beschreibt, ist der Mondbahnhalbmesser, nur ein Vierhundertstel der Entfernung Erde - Sonne, sehr klein. Statt von einer Schlangenlinie zu sprechen, wie es mitunter geschieht, stellen wir lieber fest, daß um die Vollmondzeit der Mondweg um die Sonne etwas stärker gekrümmt ist, als um die Neumondzeit, daß aber hier wie dort die sonnenzentrische Mondbahn gegen die Sonne zu hohl und nirgends erhaben ist.

(4) Bahnneigung und Knotenrücklauf. Der Einfachheit wegen legten wir die Mondbahn bisher, in diesem Abschnitt, in die Ekliptik. Tatsächlich schneidet sie die Ekliptik. Nun wandern die Knoten der im ersten, sphärischen Teil beschriebenen Beobachtung gemäß nach rechts, so wie es in Bild 160 der Pfeil andeutet. Mit den Knoten geht von selbst die ganze Mondbahnebene derart mit, daß sie zwar ihre Neigung von 5 Grad gegen die Ekliptik beibehält, aber ihren Mondbahnpol um den Ekliptikpol herumkreisen läßt. Ist die Mondbahn, die heutige „momentane", z. B. so gestellt, daß sich ihr höchster Punkt im Sternbild des Schützen beim Zeichen des Steinbocks befindet, dann ist dieser höchste Punkt nach

etwa $4^2/_3$ Jahren beim Zeichen der Waage, nach weiteren $4^2/_3$ Jahren, also heute nach 9,3 Jahren, beim Zeichen des Krebses, bis nach ins-

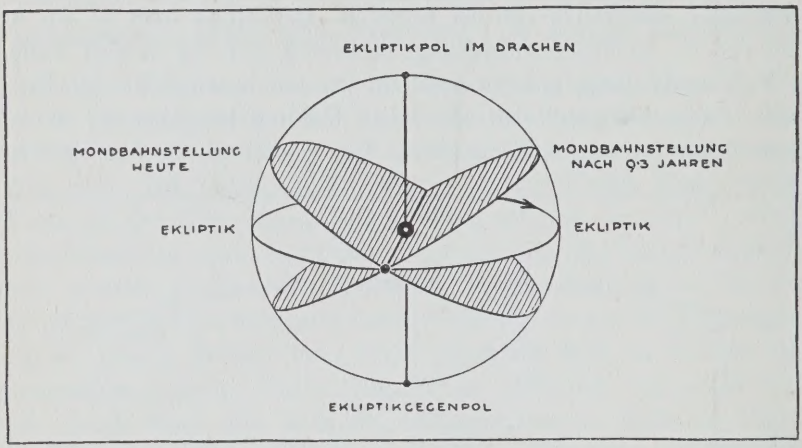


Bild 160. Knotenrücklauf der Mondbahn. Vollständiger Umlauf in 18,6 Jahren. Umlaufsachse geht durch den Ekliptikpol.

gesamt 18,6 Jahren die heutige Stellung wieder erreicht ist. Die Wanderung erfolgt in rückläufigem Sinne. Sie ist ähnlich wie die Präzession durch die Gravitationswirkung der Sonne zu erklären.

(5) Apsidenumlauf. In Bild 104 hatten wir die elliptische Erdbahn in das Ekliptiknetz verankert und dem Perihel die Länge von 100 Grad zugeteilt. Es hatte dies insoferne eine dauernde Bedeutung, als sich der Perihelort nahezu unmerklich ändert, infolge der allgemeinen Präzession um etwa 50 Bogensekunden, infolge anderer Störungen nur um 12 Bogensekunden je Jahr. Die Mondbahn dagegen kann nur als momentane Ellipse ins Ekliptiknetz eingetragen werden, denn das Perigäum ändert unter dem störenden Einfluß der Sonne außerordentlich rasch seine Ekliptiklänge, es durchwandert schon in 8,9 Jahren die 360 Grad der Ekliptik, von Frühlingspunkt bis zu Frühlingspunkt, vom Ekliptikpol aus gesehen entgegen dem Uhrzeiger, also entgegengesetzt dem Knotenrücklauf, so daß die Länge des Perigäums während eines Jahres um 40 Grad zunimmt. Dies sogenannte „Vorwärtsschreiten der Apsiden" ist aber ein recht merkwürdiges und verwickeltes. Es setzt sich zusammen aus einem starken Vorwärtsgehen, dann einem schwächeren Zurück, dann wieder einem

Vor- und darauffolgenden Zurückgehen usw. Das ganz rohe Schema Bild161 nimmt auf diese Unregelmäßigkeit grundsätzlich keine Rücksicht, kennt nur das resultierende Vorwärts und läßt außerdem, nur um einen allgemeinen Einblick in die ganze Bewegung zu gestatten, das Apogäum, statt in 8,9 Jahren, was mehr als hundert Um-

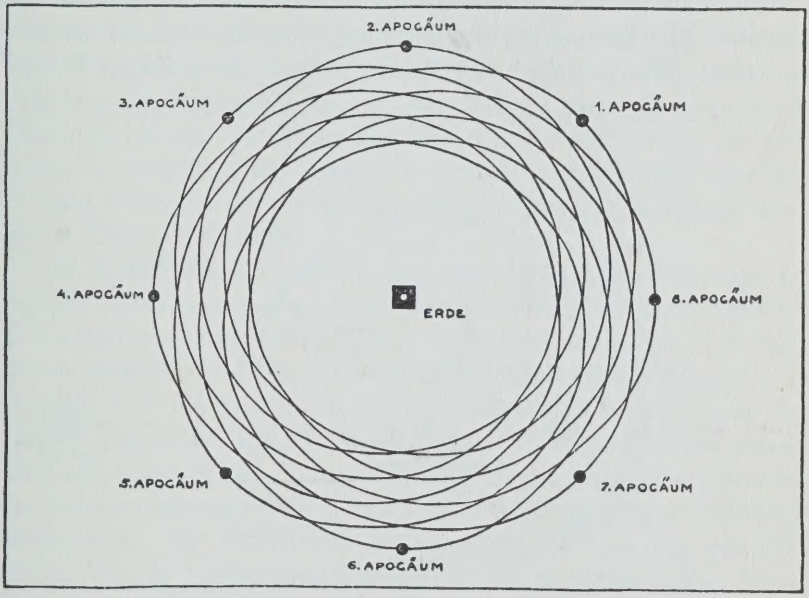


Bild 161. Vorwärtsschreiten der Apsidenlinie. Ein erdachter Mond, dessen Apogäum oder Erdferne nach 8 Mondumläufen um 360 Grad vorwärtsschreitet

läufen entspricht, schon in der Zeit von 8 Mondumläufen einen vollen Umlauf vollführen. Außerdem schließt sich die Bahnlinie in sich selbst, was in Wirklichkeit nicht geschieht. — Die tatsächlichen Verhältnisse sind folgende: Wir stellen uns wie in Bild 162 Sonne und Apogäum mit der Erde in einer Geraden liegend vor. Es fördert vielleicht die Lebendigkeit der Vorstellung, wenn wir uns als Apogäum etwa für ein Modell, das der Skizze entspricht, einen soliden Körper erdenken. Es spielt nun ein Zeitraum von 412 Tagen eine besondere Rolle. In dieser Zeit legt die Sonne, einem Jahr entsprechend, 360 Grad und außerdem noch rund 46 Grad zurück. In derselben Zeit ist das Apogäum nach einem Vorwärts und Zurück und einem zweiten Vorwärts und Zurück beim dritten Vorwärts auch um etwa 46 Grad vom ange-

nommenen Ausgangspunkt entfernt angekommen, sodaß also nach 412 Tagen Erde - Apogäum - Sonne wieder eine Gerade bilden. Die verwickelten Bewegungsvorgänge können auf Grund des Gravitationsgesetzes berechnet werden.

(6) Evektionskreis. Bei den eben geschilderten Bewegungsverhältnissen hatten wir die absichtlich übertrieben exzentrisch gezeichnete Mondbahnellipse als starr angenommen. Dies ist sie aber nun nicht. Die Gründe hiefür liegen in den mannigfaltigen Störun-

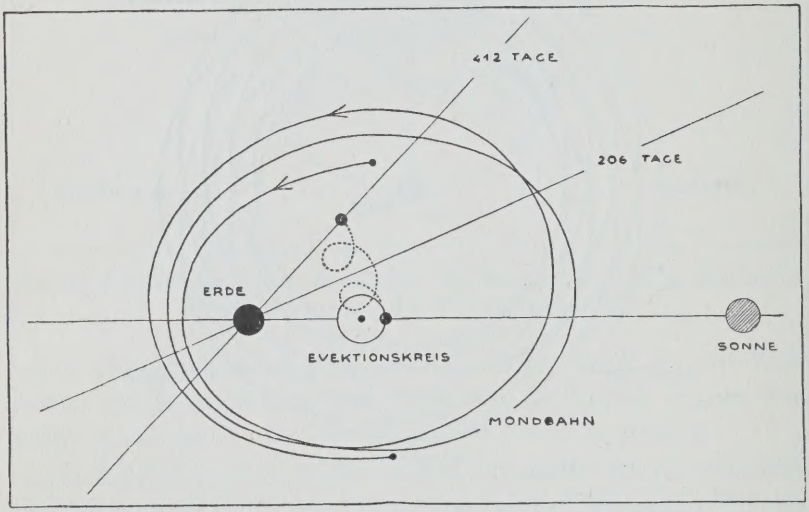


Bild 162. Evektionspunkt und Evektionskreis der Mondbahn. Der Evektionspunkt beschreibt in 412 Tagen die gestrichelte Schlingenlinie. Infolge der Änderung der Bahnexzentrizität „atmet" die Bahnellipse.

gen von seiten der Sonne. Tatsache ist zunächst, daß die lineare Exzentrizität der Bahn sich periodisch ändert, und zwar derart, daß ein Punkt, den wir den Evektionspunkt nennen wollen, um den 46 Grad weitergehenden Mittelpunkt der ursprünglich als starr angenommenen Mondbahnellipse einen Kreis beschreibt, den wir den Evektionskreis nennen wollen. In den vielfach genannten 412 Tagen durchläuft der Evektionspunkt nun zweimal den Umfang des Evektionskreises, sodaß er 206 Tage für einen einmaligen Umlauf braucht. Die resultierende Bewegung des Evektionspunktes ist die punktiert gezeichnete Schlingenkurve.

(7) Elastizität der Bahn. Der Evektionspunkt ist die ver-

änderliche Mitte aller „momentanen" Mondbahnellipsen, die der Mond beschriebe, wenn keinerlei Veränderungen der Bahnelemente einträten. Die Entfernung von der Erde bis zum augenblicklichen Ort des Evektionspunktes ist die „momentane" lineare Mondbahnexzentrizität. Sie verändert sich, wie aus Bild 162 unmittelbar zu entnehmen ist, dadurch fortwährend, daß bei ruhend angenommener Erde der Evektionspunkt eben seine Schlingenlinie beschreibt. Nun verändert sich aber, wenn wie in Bild 162 die Länge der großen Achse als konstant angenommen wird, mit der linearen auch die numerische Exzentrizität der Mondbahn fortwährend. Die Bahnellipse „atmet", indem sie periodisch, im Zeitraum von 206 Tagen, während eines einmaligen Umlaufes des Evektionspunktes, dicker und schlanker wird. Sie ist durchaus elastisch.

(8) Begriff der Störung. Der Begriff Störung möge am Beispiel „Erde, Mond und Sonne" veranschaulicht werden: Wenn ein Himmelskörper, z. B. die Erde, von einem zweiten Körper, z. B. vom Mond, umkreist wird, dann können durch einen dritten Körper — in unserem Fall die Sonne — dadurch, daß dieser dritte Körper den beiden ersten von einander verschiedene Beschleunigungen erteilt, Veränderungen in der Bahn und in den Bewegungen des umlaufenden Körpers hervorgerufen werden. Diese Veränderungen nennen wir „Störungen". Sie äußern sich als Ortsveränderungen des gestörten Objekts an der Himmelskugel gegenüber der gestörten Bahn oder als Veränderungen des Leitstrahls „erster - zweiter Körper". Die Ursache sind die störenden Kräfte, die dem gestörten Körper eine störende Beschleunigung erteilen. Die Wirkungen dieser störenden Kräfte sind die Beschleunigungen, durch die die genannten Ortsveränderungen gegenüber der ungestörten Bahn entstehen. Diese Ortsveränderungen sind es, die wir als Störungen im engeren Sinn bezeichnen. Diese letzteren sind die unmittelbar beobachtbaren und meßbaren Erscheinungen. — Den Unterschied zwischen Beschleunigung und Kraft sollen ein Handkoffer und eine Riesenlokomotive kennzeichnen. Beiden erteilt die Erde die gleiche Beschleunigung von rund 10 Metern in der Sekunde. In Gedanken können wir das Erdreich unter dem Bahnhof wegzaubern. Dann müßten Koffer und Lokomotive beide ebenso fallen, nicht rascher und nicht langsamer, wie ein beliebiger Stein. Dem Koffer und der Lokomotive erteilt die Erde die gleiche Beschleunigung. Dies sagen wir auch dann, wenn die Lokomotive auf

den Schienen und der Koffer auf dem Boden ruht, also auch, wenn keinerlei Bewegung stattfindet. Trotz dieser absolut gleichen Beschleunigung ist die Kraft, mit der die Erde auf die beiden genannten Gegenstände wirkt, grundverschieden. Der Koffer wird mit der Kraft 10 Kilogramm angezogen, die eben sein Gewicht ausmachen, die Lokomotive vielleicht mit der Kraft 100 000 Kilogramm. Kraft und Gewicht sind hier identisch, Beschleunigung etwas ganz anderes. — Wir betrachten nach dieser Einleitung wieder die Erde als Zentralkörper oder „ersten" Körper, um den der Mond als zweiter umläuft. Wäre sonst nichts da, müßte der Mond nach den durch das Gravitationsgesetz bedingten Planetengesetzen eine Ellipse beschreiben, eine „ungestörte", wie wir hier betonen wollen. Nun zieht die Sonne den Mond mit einer gewissen Kraft an und erteilt ihm eine Beschleunigung, sie zieht aber auch die Erde an und beschleunigt sie. Sind Erde und Mond von der Sonne gleich weit entfernt, dann werden nach den Gravitationsregeln Erde und Mond gleich beschleunigt, es erfolgt keinerlei gegen die Sonne gerichtete störende Beschleunigung auf den Mond. Ist aber der Mond der Sonne näher als die Erde, dann wird er von der Sonne stärker beschleunigt als die Erde. Mond und Erde haben wegen dieser Differenzwirkung das Bestreben auseinanderzugehen. Daß sie es nicht gleich tun, daran ist der Umstand schuld, daß der Mond in seiner Bahn stets weiterläuft. Jedenfalls besteht eine Differenz: Beschleunigung des Mondes minus Beschleunigung der Erde. Und diese Differenz nennen wir störende Beschleunigung. — Gehen wir von Kräften aus, dann definieren wir ähnlich eine störende Kraft. Das Ergebnis solcher Beschleunigungen oder Kräfte ist wie vorhin „die Störung selbst". — Es sollen nun die Ergebnisse beschrieben werden, vor allem die schon im ersten Teil aufgezählten vier Mondstörungen: jährliche Gleichung, Variation, parallaktische Gleichung und Evektion.

(9) Mondstörung. Störungen können nach dem vorigen Kapitel als Wirkung von Beschleunigungen oder von Kräften definiert werden. Wir bleiben vorläufig bei der ersteren Fassung. Eine gegen das umkreiste Zentrum — in obigem Beispiel gegen die Erde — oder von demselben weg gerichtete störende Beschleunigung nennen wir eine radiale Beschleunigung oder, wenn es sich nicht um die gesamte störende Beschleunigung handelt, deren radiale Komponente. Eine störende Beschleunigung und Beschleunigungskomponente kann

auch zur Bahn tangential sein. Radiale und tangentiale Komponenten stehen im allgemeinen nicht aufeinander senkrecht. Dies ist nur bei Kreisbewegungen der Fall. Wird in anderen Fällen zur Tangentialkomponente eine Normale gezogen, so heißt eine in deren Richtung fallende Komponente Normalkomponente. Es ist auch möglich, zur Radialkomponente eine auf diese Senkrechte zu ziehen, die im allgemeinen mit der tangentialen nicht zusammenfällt, so daß wir insgesamt viererlei Richtungen zu unterscheiden haben. — Störende Beschleunigungen lassen sich vorteilhaft in Komponenten beliebiger Richtungen zerlegen, so wie sich zwei oder mehrere störende Beschleunigungen zu einer einzigen vereinigen lassen. Dies geschieht nach dem Satz, daß die Resultante zweier Beschleunigungen, die in einem Punkt angreifen, durch die aus diesem Punkt ausgehende Diagonale des Parallelogrammes dargestellt wird, das die beiden gegebenen Beschleunigungen zu Seiten hat. In Bild 163 sind zunächst die Radialkomponenten der die Mondbahn störenden Beschleunigungen durch Pfeile angedeutet. Auswärtsgerichtete Komponenten sind in den Syzygien, einwärtsgerichtete in den Vierteln am stärksten ausgeprägt. Die ersteren sind im ganzen größer als die letzteren. Es tritt im großen und ganzen eine gegen die Anziehung der Erde gerichtete Gegenbeschleunigung in Erscheinung, als ob die Erde durch die Anwesenheit der Sonne geringere Anziehungskräfte ausübte. Die Anwesenheit der Sonne „schwächt" die Erde. Diesen bildlichen Ausdruck werden wir noch öfter anwenden.

Den sehr wichtigen Unterschied zwischen der direkt anziehenden Kraft, die auch als das Gewicht relativ zum anziehenden Körper bezeichnet werden kann, und der bloß störenden Kraft soll ein Zahlenbeispiel veranschaulichen helfen. Zunächst ersehen wir aus der Lage der Äqualkugel in Bild 115, daß die Sonne den Mond stärker anzieht, als es die Erde tut. Im Durchschnitt zieht die Sonne den Mond mit einer doppelt so großen Kraft an, wie die Erde ihn anzieht. Aber die von der Sonne auf den Mond wirkende störende Kraft ist nur $^1/_{200}$ der von der Sonne auf den Mond ausgeübten gesamten Anziehungskraft.

(10) Jährliche Gleichung. Sie hat, wenn wir nur die Störung in der Richtung der Bahn und nicht auch die radiale in Betracht ziehen, Höchstbeträge von 11 Bogenminuten, zur Periode ein Jahr, und zwar ein anomalistisches, das einem Umlauf der Erde

von Perihel zur Perihel entspricht. Diese Störung kommt folgendermaßen zustande: Wir teilen das Jahr in eine „Perihelhälfte" von Anfang Oktober bis Anfang April und eine „Aphelhälfte" von Anfang April bis Anfang Oktober. In der ersten Hälfte ist die Störung auf den Mond groß, weil die störende, die Erde „schwächende" Sonne relativ nahe ist, die Mondbahn wird nach den Ausführungen des vorigen Kapitels erweitert, der siderische Monat wird länger, der Mond geht langsamer und bleibt hinter dem nach den Regeln eines streng elliptischen Umlaufes eilenden Mond zurück. In der Aphelhälfte ist die störende, die Erde schwächende Sonne relativ weit, die Störung vermindert, die Mondbahn wird also enger, der siderische Monat kürzer, der Mond läuft verhältnismäßig rasch und eilt so dem nach den Regeln eines streng elliptischen Umlaufes eilenden Mond in der Bahn voraus.

(11) Variation und parallaktische Gleichung. Aus Bild 163, das die Radialkomponente der von der Sonne ausgehenden störenden Beschleunigungen veranschaulicht, entnehmen wir, daß z. B. die bei Neumond nach außen gerichtete Radialkomponente sich bis zum ersten Viertel in eine nach innen gerichtete umwandelt. Die

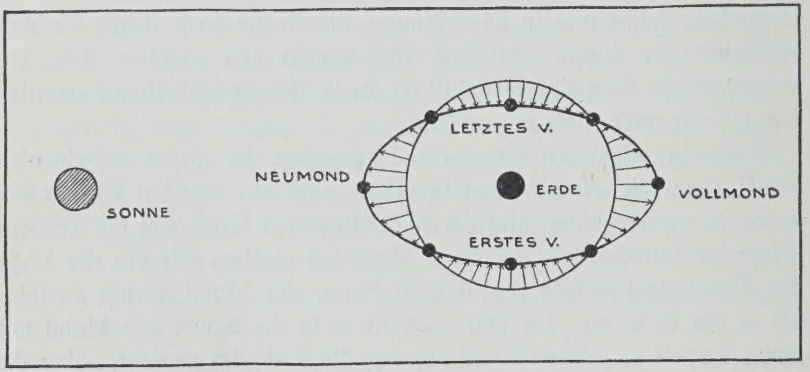
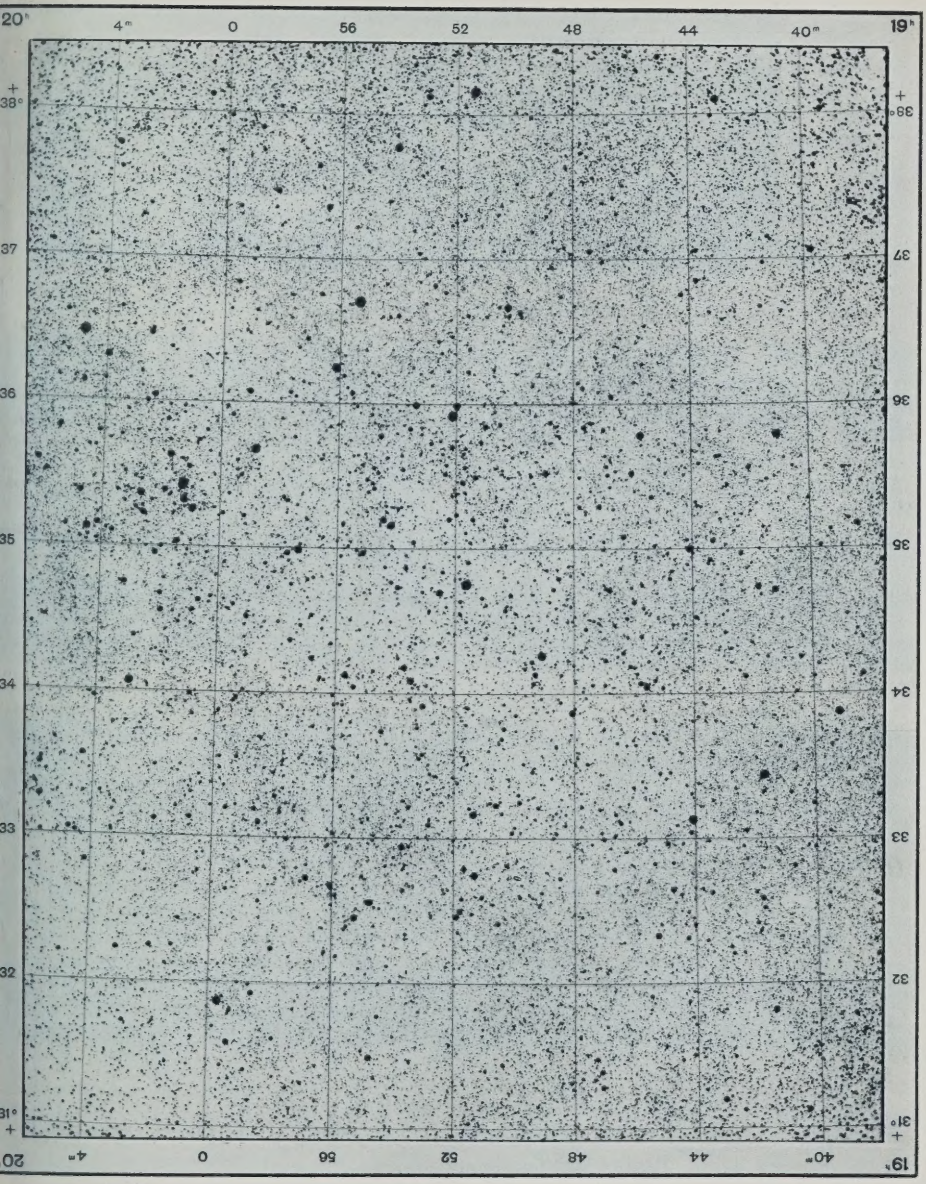
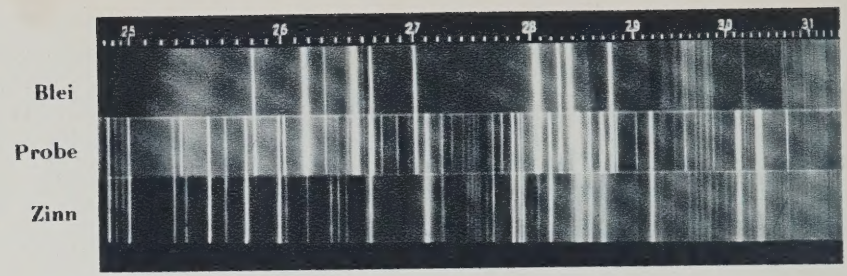


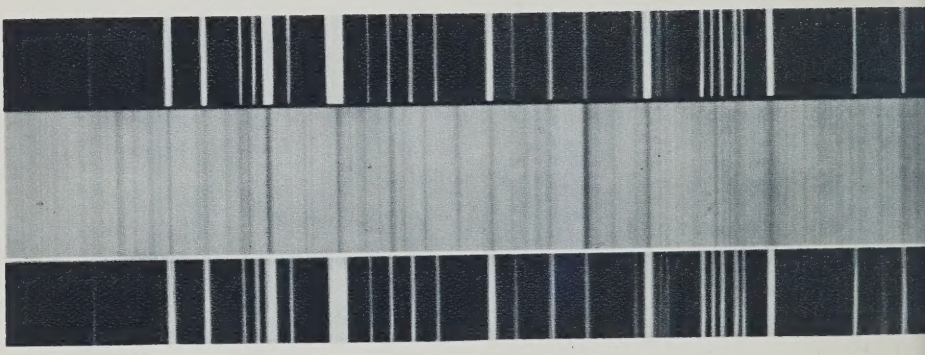
Bild 163. Radialkomponenten der durch die Sonne hervorgerufenen störenden Beschleunigungen, in den Syzygien von der Erde weg, in den Vierteln zur Erde hin

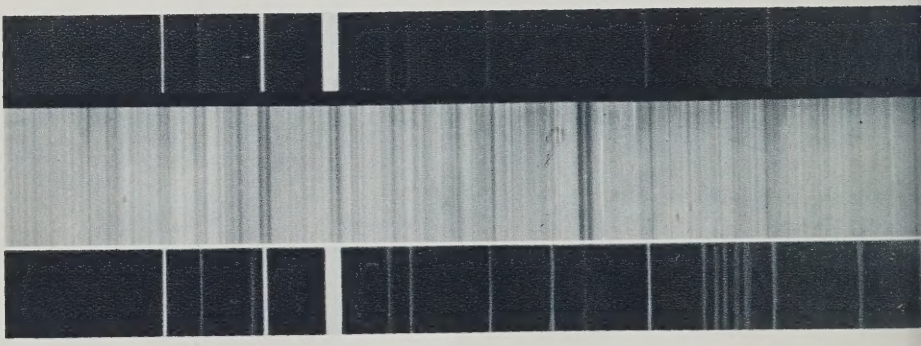
Tangentialkomponente ist ins Bild 163 nicht eingezeichnet. Sie ist in den Syzygien und in den Quadraturen Null, und zwar zunächst in den Syzygien, weil Sonne, Erde und Mond in einer Geraden stehen und keinerlei Grund zu einer seitlichen Störung besteht, dann in den Vier-



Palisa-Wolf-Karte (Staatssternwarte Wien)







Oben: Spektren mit übereinstimmenden Linien (Zeisswerk-Jena)
Unten: Mizarspektren mit einfachen und mit doppelten Linien (Yerkessternwarte

teln, weil hier Erde und Mond von der Sonne praktisch gleich weit abstehen, also dieselbe Beschleunigung zur Sonne erfahren. In den übrigen Teilen aber ist die Tangentialkomponente wirksam. Und nun erkennen wir deutlich den früher absichtlich betonten Unterschied zwischen Ursache und Wirkung, d. h. hier zwischen störender Beschleunigung und wirklicher geometrisch faßbarer Störung einer Bahn. Die Ursache veranschaulicht Bild 163, die Wirkung Bild 164. — Zunächst bewirkt beim ersten und letzten Mondviertel die einwärtsgerichtete Radialkomponente (Bild 163) eine stärkere Krümmung der Bahn (Bild 164). In der Neumond- und Vollmondstellung verursacht die hier durch die nach außen gerichtete Radialkomponente geschwächte Beschleunigung gegen die Erde (Bild 163) eine geringere Krümmung der Mondbahn (Bild 164). Die Folge hievon ist, daß die ursprünglich ungestörte Mondbahn, die wir der Einfachheit wegen als Kreis annehmen wollen, bei der wir also die Elliptizität außer acht lassen wollen, zu einem Oval umgeformt wird, in dessen Mitte sich die Erde befindet und dessen Querachse zur Sonne weist. Die Theorie zeigt, daß an den im Bild bezeichneten Stellen des Ovals, etwa 45 Grad von den Syzygien entfernt, extreme Ortsveränderungen des Mondes im Betrag von 39½ Bogenminuten entstehen, und zwar derart, daß der Mond um diesen Betrag zwischen Neumond

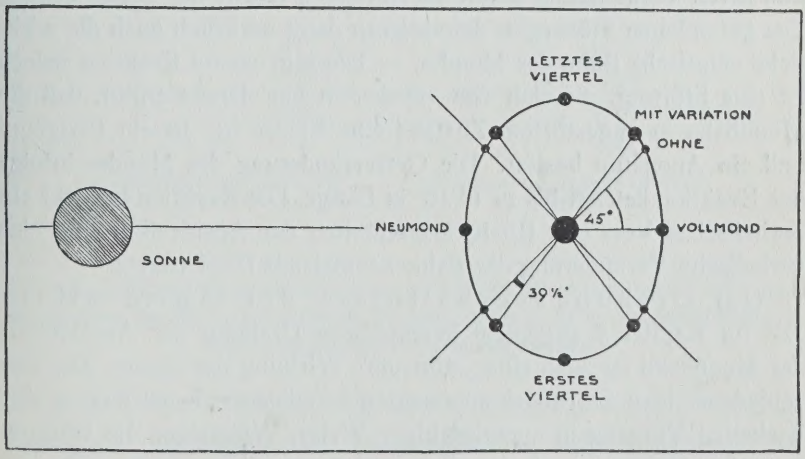


Bild 164. Mondvariation. Die Mondbahn wird in der Richtung zu den Vierteln auseinandergezogen. Höchstbeträge der Störung in der Mondlänge in den Oktanten

und erstem Viertel voreilt, zwischen erstem Viertel und Vollmond zurückbleibt, dann zwischen Vollmond und letztem Viertel voreilt, um zwischen letztem Viertel und Neumond zurückzubleiben. Diese Störung ist die Variation in der Bahnrichtung. Die tangentialen Komponenten der störenden Beschleunigungen, die in Bild 163 nicht eingezeichnet sind, ändern im wesentlichen nichts an der geschilderten Erscheinung. — Bild 164 ist hinsichtlich der durch die beiden Viertel gehenden Geraden symmetrisch gezeichnet. In Wirklichkeit ist, da der Neumond der Sonne näher ist als der Vollmond, die störende Wirkung in der Neumondstellung größer als in der Vollmondstellung, so daß im ersten Fall die Erde mehr „geschwächt" wird als im zweiten. Der Mond wird deshalb nach der Neumondzeit langsamer umlaufen, nach der Vollmondzeit rascher. Diese Ungleichförmigkeit ist die „parallaktische Gleichung". Sie hat eine Periode von einem synodischen Monat oder 29½ Tagen und kann aufsummierte Höchstbeträge bis zu 2 Bogenminuten erreichen, um die der Mond beim ersten Viertel zurückbleibt und beim letzten Viertel vorauseilt.

(12) Evektion. Sowohl die jährliche Gleichung, als auch die Variation und die parallaktische Gleichung würden vorhanden sein, auch wenn die ungestörte Mondbahn ein Kreis wäre. Wir konnten deshalb ohne weiteres eine Kreisbahn als ungestörte Linie annehmen und deren Veränderung durch die störenden Kräfte der Sonne zeigen. Die gefundenen Störungen deformieren dann natürlich auch die wirkliche elliptische Bahn des Mondes. — Die sogenannte Evektion jedoch ist eine Störung, die sich von vornherein nur daraus ergibt, daß die Mondbahn in ungestörtem Zustand eine Ellipse ist, die ein Perigäum und ein Apogäum besitzt. Die Ortsveränderung des Mondes infolge der Evektion beträgt bis zu $1^{0}\ 16'$ in Länge. Die Evektion bewirkt ein periodisches Vor- und Rückwärtsschreiten der Apsidenlinie und eine periodische Veränderung der Bahnexzentrizität (Bild 162).

(13) Drehungsverhältnisse der Apsidenlinie. Die im Kapitel 5 allgemein beschriebene Drehung der Apsidenlinie der Mondbahn ist auch eine „störende" Wirkung der Sonne. Die verschiedenartigen Störungskomponenten beteiligen sich bei diesem verwickelten Vorgang in mannigfaltiger Weise. Wir zeigen die Wirkungen der Normal- und der Tangentialkomponente und wollen an Hand von Bild 165 die verschiedenen Phasen des Vor- und Zurückgehens der Apsidenlinie beschreiben. Die kleine Scheibe links be-

deutet jeweils die Sonne, der schwarze Punkt die Erde, die um sie gelegte Ellipse, übertrieben exzentrisch gezeichnet, die Mondbahn, bei der in allen Figuren Neumond links, zwischen Sonne und Erde, Vollmond rechts, erstes Viertel genau unter, letztes genau über der Erde steht. Die Apsidenlinie schreitet im allgemeinen vorwärts, sie wandert im Sinne der wachsenden Längen. Es dreht sich die Längsachse der Mondbahnellipse, mit ihr Perigäum und Apogäum, in der Bildebene gegen den Uhrzeiger. Dies bedeutet aber nur soviel, daß

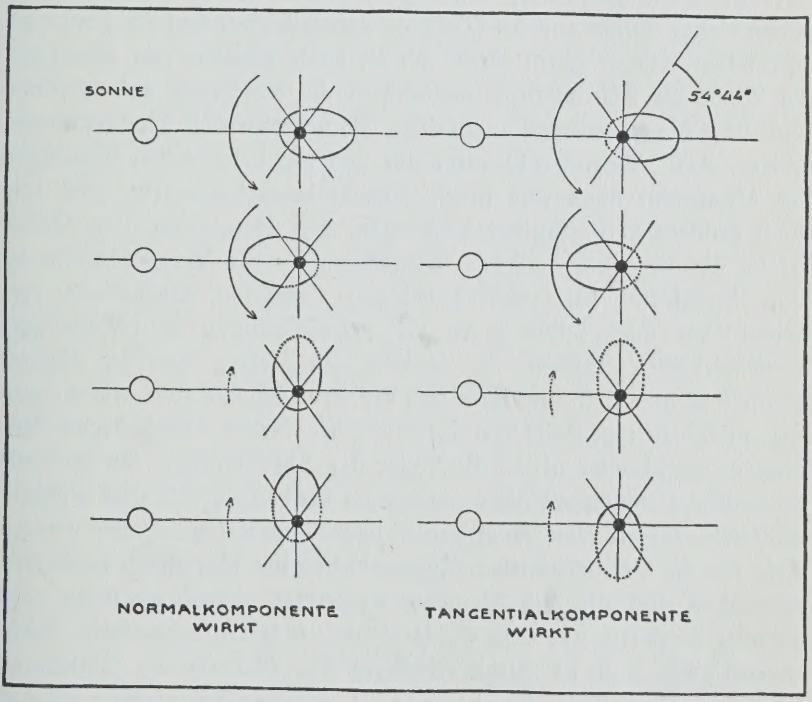


Bild 165. Drehung der Apsidenlinie der Mondbahn. Mondbahnexzentrizität stark übertrieben. In den ausgezogenen Ellipsenstücken ein Vorwärtsschreiten, in den punktierten Stücken ein Zurück

dieser Drehsinn überwiegt. Es wirkt die Sonne in den einzelnen Teilen der Mondbahn teils beschleunigend, teils verzögernd. Der Unterschied ist in der Zeichnung dadurch hervorgehoben, daß die Mondbahnstücke ausgezogen sind, innerhalb derer die Sonne bei Anwesenheit des Mondes in diesen Wegstücken ein Vorwärtsschreiten

der Apsidenlinie erfährt, während die Bahnstücke, in denen ein Zurück erfolgt, punktiert sind. — Die Mondbahnellipsen haben hinsichtlich der Richtung der Apsidenlinie gegen die Sonne die verschiedensten Stellungen. In jeder einzelnen lassen sich die ausgezogenen mit den punktierten elliptischen Bogen vergleichen. Der resultierende Drehsinn ist durch die im Kreisbogen gezeichneten Pfeile angegeben, deren schematisch relative Größe deutlich das durchschnittliche Vorherrschen des „Vorwärtsschreitens" erkennen läßt.

(14) Periodische und säkulare Störungen. Wir haben bisher immer von der Erde als Zentralkörper und der Sonne als störendem Körper gesprochen. Es ist auch möglich, den Mond um die Sonne als Zentralkörper laufend in die Rechnung aufzunehmen und die Erde als störend anzusehen. So ergeben sich Modifikationen anderer Art. Aber es gibt außer den von uns behandelten Störungen der Mondbahn noch eine große Anzahl bemerkenswerter und eine noch größere geringfügiger Störungen. Bei Herstellung von Mondtafeln, die die zahlenmäßigen Grundlagen für die Vorausberechnung aller Mondörter für jeden beliebigen Zeitpunkt tabellarisch enthalten, hat man schon mehr als 150 Störungen der Mondlänge berücksichtigen müssen, die einzeln den Betrag von $^1/_{10}$ Bogensekunde übersteigen, und über 500 kleinere. Sie alle sind, wie die von uns ausführlich geschilderten, periodischer Natur. Periodische Störungen des Mondes in der Richtung der Ekliptikbreite, die ebenfalls bei großer Genauigkeit nicht unbeachtet bleiben dürfen, sind weniger zahlreich, zählen aber auch schon nach Hunderten. Dabei werden nicht nur die hier behandelten Eigenschaften der Mondbahn verändert. Störungen sind alle ihre Elemente ausgesetzt, ebenso natürlich auch die aller Planeten, wie z. B. die der Erde. — Deren numerische Bahnexzentrizität z. B. ist durch Einflüsse der Planeten im Abnehmen begriffen. Von dieser Erscheinung ist uns keinerlei sichere Periode bekannt. Wir nennen sie, wie alle anderen nichtperiodischen Störungen, eine säkulare. Die Erdbahn wird immer kreisähnlicher. Eine Folge davon ist, daß die Veränderlichkeit der Entfernungen Sonne-Erde im Verlauf eines Jahres später nicht so ausschlaggebend sein wird, wie heute. Deshalb wird auch die Störung des Mondes durch die Sonne allmählich geringer werden, die Erde wird weniger „geschwächt". Der Mond wird an die Erde herangezogen werden und muß den Planetengesetzen zufolge rascher um die Erde laufen. Er

wird beschleunigt. Man hat den Betrag dieser seiner Beschleunigung auf 6 Bogensekunden je Jahrhundert berechnet und nennt ihn die säkulare Beschleunigung oder säkulare Akzeleration der mittleren Bewegung des Mondes.

FÜNFTER ABSCHNITT

MONDKUGEL

Mond und Erde / Mösting Null / Rotation / Parallaktische Libration / Libration in Breite / Libration in Länge / Mondkörper / Boden, Wasser und Luft / Oberfläche / Meere / Gebirge und Krater / Mondentwicklung / Kraterhypothesen

(1) Mond und Erde. Man hatte den Mond oft und oft mit der Erde verglichen und so die dunkeln Flecken auf seiner Oberfläche aus reinem Analogiebedürfnis heraus Meere und Sümpfe genannt. Diese Benennung ist bis auf den heutigen Tag geblieben, auch wenn man mitunter statt „Meer" das lateinische „Mare" gebraucht. Im Fernrohr erscheinen Mondmeere und Sümpfe als relativ dunkle, glatte Flächen, der übrige Teil dagegen von gebirgigen Massiven und besonders auffallenden tellerförmigen sogenannten Kratern oder Ringgebirgen besetzt, die wohl auch Ringebenen heißen, wenn sie außergewöhnlich große Dimensionen haben und wieder mit den Meeren verglichen werden können. Rillen heißen meist dunkle, strichähnliche Gebilde an verschiedenen Teilen der Mondoberfläche, und es gibt auch ein schnurgerades „Tal der Alpen", wie überhaupt alle Objekte irgendwie mit Eigennamen versehen wurden. Ganz rätselhaft sind helle Strahlensysteme, die einzelne Krater umgeben. — Der Mond ist querdurch rund viermal kleiner als die Erde. Sein Rauminhalt ist 50mal, seine Masse 81mal geringer als die der Erde, sein spezifisches Gewicht mit 3,3 bedeutend kleiner als das der Erde. Die Oberflächenbeschleunigung müßte bei einem gleichen Rauminhalt, wie bei der Erde, zunächst der Masse entsprechend, 81mal geringer sein, da aber jeder Punkt an der Oberfläche des Mondes dem Gravitationszentrum der Mondmitte viermal näher liegt, so müssen wir nach der erfolgten Division durch 81 wieder mit 4 mal 4 multiplizieren. Nach dieser Überlegung finden wir, statt der genannten runden Zahlen die genauen eingesetzt, 1,62 Meter sekundliche Fallbeschleunigung, 6mal weniger als an der Erdoberfläche. Ein 60 Kilogramm schwerer Mensch würde,

auf den Mond versetzt, 10 Kilogramm wiegen und ein Stein würde in der ersten Sekunde nicht 5 Meter, sondern nur 81 Zentimeter tief fallen.

(2) Mösting Null. Da uns der Mond erfahrungsgemäß immer dieselbe Seite, dasselbe „Gesicht mit Mund und Augen und Nase" zukehrt, können wir von einer „Mitte der Mondscheibe" sprechen und einen Punkt an der Mondoberfläche festlegen, der uns, besser gesagt der Erdmitte, am nächsten ist. Man hat unter den vielen markanten Oberflächengebilden einen Punkt „Mösting A" im Gebiet des Kraters Mösting ausgesucht, der dieser Mitte recht nahe liegt und auf den die verschiedenen Messungen bezogen werden können (Bild 170). Wir wollen statt dieses uns einen idealen Punkt „wirklich in der Mitte" denken und ihm den Namen „Mösting Null" beilegen. Würde der Mond uns ganz streng genommen immer dieselbe Kugelhälfte zeigen, so bildeten Erdmitte, Mösting Null und Mondmitte selbst eine starre Gerade. Dies ist aber nicht der Fall. Mösting Null zeigt Verschiebungen nach oben und unten, nach links und rechts, die sogenannten Librationen. Sie sind aber im allgemeinen nicht bedeutend, so daß wir von ihnen z. B. dann absehen wollen, wenn die Frage aufgeworfen wird, ob der Mond überhaupt rotiert.

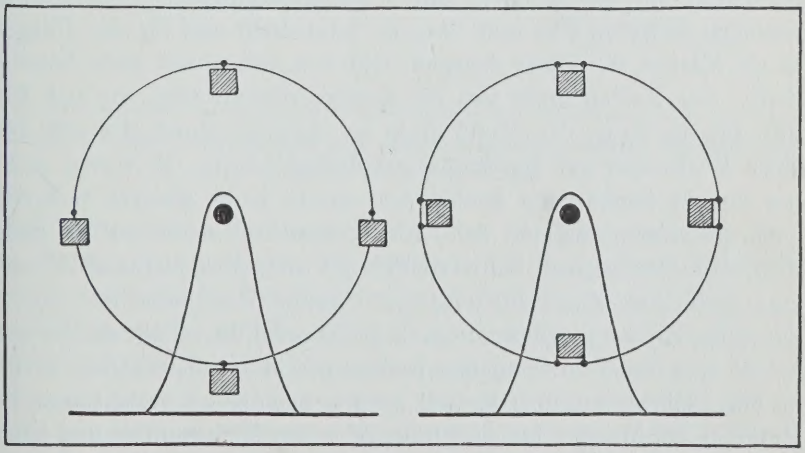


Bild 166. Schema zur Veranschaulichung der Relativität der Monddrehung

(3) Rotation. Die Frage an sich, ob der Mond sich dreht oder nicht, darf eigentlich gar nicht gestellt werden. Es fehlt das, worauf

wir uns zu beziehen haben. Wir werden sehen, daß der Mond in bezug auf uns sich nicht dreht, aber gleichzeitig z. B. in bezug auf die Sonne recht wohl als um eine Eigenachse rotierend angesehen werden kann. Das erste ist einleuchtend, das letztere begreifen wir wohl am besten, wenn wir Bild 159 gut ansehen. Für die Sonne läuft der Mond in großem Kreis um sie selbst und kehrt ihr dabei, eben weil er ständig die Erde „ansieht", der Reihe nach alle seine Seiten zu. Für die Sonne also, oder anders ausgedrückt, relativ zur Sonne, dreht sich der Mond. — Man kann diese Angelegenheit der Relativität einer Drehung auch mit Hilfe des berühmten Riesenrades im Wiener Prater illustrieren. Bild 166 zeigt, wie dies Wunderwerk nicht aussieht, aber wir brauchen es hier in dieser simpeln Form. Es dreht sich, Abbildung links, und die Wagen mit den Menschen drin hängen selbstverständlich stets abwärts. Ein Flieger hoch oben sieht von den hängenden Kasten immer nur das Dach. Für ihn dreht sich so ein Kasten gewiß nicht. Eine — an der Nabe des Rades — in der Mitte befindliche Fliege, deren Begriffe „oben" und „unten" von ihr vermutlich nicht so ernst genommen werden, wie von uns, sieht von so einem Kasten einmal das Dach, dann die Nordseite, dann den Boden, dann die Südseite. Für sie dreht sich der Kasten. Nun bauen wir das Riesenrad um und schaffen durch geeignete Streben vollkommene Starrheit zwischen Rad und Wagen. Jetzt dreht sich für den Flieger so ein Kasten, die Fliege dagegen sieht von diesem nur stets dieselbe Seite. Der Kasten dreht sich für letztere ebensowenig, wie sich für uns, für die Erde, der Mond dreht — derselbe Mond, der sich für einen Beobachter auf der Sonne „tatsächlich" dreht. Er rotiert nicht nur um die Sonne ganz ähnlich wie unsere Erde, sondern er kreist auch, gleichsam starr mit der Erde verbunden, um den in der Erde liegenden gemeinsamen Schwerpunkt. Es steht aber nichts im Wege, eine Erde und Mond zunächst gemeinsame Rotationsachse, einmal durch die Erd-, ein andermal durch die Mondmitte verlegt zu denken, so daß sich für einen Sonnenbeobachter der Mond nicht anders dreht, als ein, freilich langsamer Kreisel. — Für gewöhnlich bezieht man die Rotation des Mondes auf die Sterne oder den Kolurhimmel und kann dann von siderischer oder tropischer Rotation sprechen, die einem siderischen oder tropischen Umlauf grundsätzlich gleichkommt. Die Rotationsachse des Mondes schließt mit der Ekliptikachse einen Winkel von 1½ Grad ein.

(4) Parallaktische Libration. Der Mond dreht sich also „für uns" nicht. Aber wir können trotzdem mehr als die Hälfte der Mondoberfläche sehen. Zunächst müssen wir feststellen, daß man von einer Kugel auf einmal nie eine ganze Hälfte sehen kann, da dies nur von unendlich weit her möglich wäre und dann die betrachtete Kugel zum Punkt zusammenschrumpfen müßte. Dieser kleine Unterschied spielt aber tatsächlich keine Rolle. Aber nehmen wir an, Erdmitte, Mösting Null und Mondmitte bildeten eine starre Gerade und es möge wie in unserem Bild 167 noch als vierter Punkt der geographi-

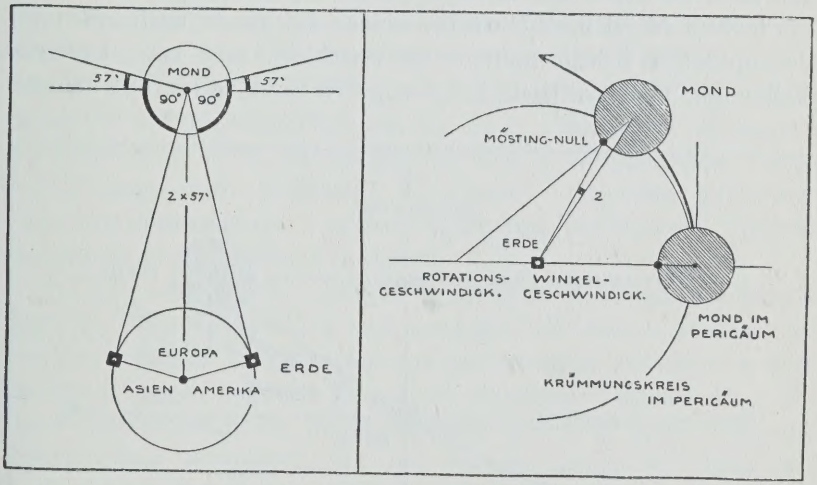


Bild 167. Links: Parallaktische Libration des Mondes. Rechts: Mondlibration in Länge (2 Bogenminuten)

sche Nullpunkt im Golf von Guinea, dem Mond zugekehrt, in dieser kosmischen Stange liegen. Dann steht es uns frei, den Mond einmal von Amerika, ein andermal von Asien aus zu betrachten. Die Grenzen der sichtbaren Mondflächen sind für beide Erdgegenden im Bild angedeutet. Ein Mann in Ecuador oder in Sumatra sieht einen mondzentrisch gemessenen, fast 1 Grad breiten Streifen „hinter" der im Bild waagrecht gezeichneten „Wand", die senkrecht zur Verbindung Erdmitte - Mondmitte die Mondkugel in zwei genau gleiche Hälften teilt. Dieser Betrag von je einem Grad, genau 57 Bogenminuten, sowohl links als auch rechts, heißt tägliche oder parallaktische Libration oder Schwankung, denn es scheint, wenn sich die Erde „von Ecuador

nach Sumatra" dreht, als ob der Mond um diesen Winkel schwankte, so daß man mehr als 50 Prozent seiner Oberfläche sehen kann. Dabei bewegt sich für uns Mösting Null um die optische Mitte der Mondscheibe. — Es gibt auch eine Libration „in Breite" und eine „in Länge".

(5) Libration in Breite. Da der Mond gelegentlich rund 5 Grad über und wieder 5 Grad unter der Ekliptik steht, kann man auch „unten" und „oben" an der Mondkugel gewisse Flächenteile der „unsichtbaren Mondhälfte" wahrnehmen. Diese sogenannte Libration in Breite äußert sich derart, daß Mösting Null sich bei nördlichem Mond nach oben, bei südlich gelegenem nach unten von der optischen Scheibenmitte weg verschiebt, und zwar äußersten Falles um, mondzentrisch gemessen, 6¾ Grad (Bild 168). Großen

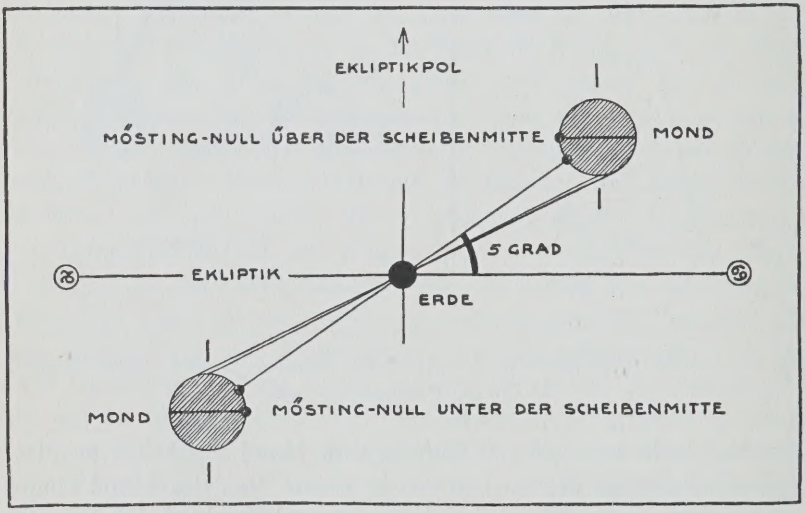


Bild 168. Mondlibration in Breite. Mösting Null bedeutet den der Erde durchschnittlich nächsten Punkt der Mondoberfläche.

Einfluß haben die Librationen auf die Sichtbarkeit und das Aussehen der Randteile des Mondes mit den infolge der Perspektive ohnehin schon gedrängt erscheinenden Einzelheiten.

(6) Libration in Länge. Auch eine Libration „in Länge" gestattet Teile der hinteren Mondhälfte links und rechts, d. i. in der Gegend des Ost- und des Westrandes, während eines Mondumlaufes

wahrzunehmen. In Bild 167 steht der Mond zunächst im Perigäum, Punkt Mösting Null der Erde zugekehrt. Würde der Mond bei Beibehaltung seiner Rotationsgeschwindigkeit relativ zu den Sternen etwa in der angedeuteten Tangente zur Mondbahn weitereilen, müßte man von der Erde aus schließlich immer mehr und mehr von der Rückseite sehen. Bei vollkommener Kreisbahn wäre es einleuchtend, daß der Mond immer Mösting Null genau der Erdmitte zukehrt. Der Mond läuft aber in einer Ellipse und nach dem Perigäum z. B. nimmt die Krümmung der Bahn ab. Die Mondbahn wird immer flacher, nimmt also — rechtverstanden — eine Art Mittelstellung zwischen Kreis und Gerade ein, so daß tatsächlich, wenn auch nicht annähernd so viel wie beim angenommenen geraden Lauf, wenigstens ein Teil der Rückseite der Beobachtung zugänglich ist. Mondzentrisch verschiebt sich Mösting Null von der Linie „Mondmitte - Erdmitte" um höchstens 8 Grad, erdzentrisch um etwa 2 Bogenminuten. Diese Verschiebung heißt „Libration in Länge". Alle drei genannten Librationen gestatten uns insgesamt 59 Prozent, also fast drei Fünftel, der ganzen Mondoberfläche zu sehen.

(7) Mondkörper. Bei der Frage nach der möglichen Kugelform des Mondes kann es sich zunächst nur darum handeln, ob wir durch direkte Beobachtung eine gesetzmäßige Abweichung von der bisher angenommenen Kugelform feststellen können, denn die vielen Unebenheiten der Mondoberfläche dürfen in dieser Hinsicht ebenso wenig maßgebend sein, wie einzelne Berge und Täler der Erdrinde bei der Frage nach der allgemeinen Gestalt der Erde. Es sind Messungen gemacht worden, um Erhebungen und Vertiefungen in bezug auf ein bestimmtes Nullniveau der Mondoberfläche festzustellen und es konnten „Linien gleicher Höhen" gezeichnet werden. Erdnahe Gegenden des Mondkörpers sind im allgemeinen gegen die Erde zu vorgelagert, vorgeschoben. Auch aus Störungen heraus fand man Anhaltspunkte für die Ermittlung der wahren Gestalt des Mondes. Er scheint ein dreiachsiger Körper zu sein. Die gegen uns zu gerichtete Achse, die im Mösting Null endet, ist die größte, die von links nach rechts gehende Achse ist rund ½ Kilometer, die von oben nach unten gehende Rotationsachse 1½ Kilometer kürzer als die Möstingachse. Der Mond gleicht, wenn wir die gegen uns gerichteten Erhebungen übertreiben wollen, einer mit dem Stielende — Mösting Null — auf uns zu gerichteten, auf dem

Teller liegenden Birne, die gegen den Teller zu leicht zusammengepreßt wird. Da uns infolge der eben beschriebenen Librationen die große Birne das Stielende nicht immer direkt zukehrt, folgt dieses der Erdanziehung, und zwar in pendelnder Bewegung. Die Ausschläge sind allerdings fast unmerklich klein. Man nennt sie physische Librationen.

(8) Boden, Wasser und Luft. Mondlicht ist Sonnenlicht, das an der Mondoberfläche zurückgeworfen wird. Die Albedo der Mondoberfläche beträgt nur 7 Prozent, doch ist sie für helle Punkte außerhalb der Meere bedeutend höher. Einen Rückschluß auf die mineralische Beschaffenheit des Mondmassivs gestatten Polarisationsmessungen. Die Mondmeere haben einen Polarisationswinkel, d. h. Einfallswinkel stärkster Polarisation von 33¼ Grad. Polarisationswinkel zwischen 33 und 34 Grad haben folgende Minerale: Vitrophyre, das sind glasig erstarrte Quarzporphyre, und Liparite, Ergußformen granitischen Magmas, dann Hyalomelan und Obsidian. Der Mondboden wird also vermutlich aus ähnlichen Gesteinen bestehen. Die Betrachtungen mit dem Fernrohr haben nie glänzende Flächen erkennen lassen, die etwa auf irgend eine Art mit Wasserspiegeln zu vergleichen wären, auch nie irgend eine noch so geringe Trübung oder Verschleierung von Oberflächenteilen, die sich als Nebel und Wolken deuten ließen. Übereinstimmend hiemit verschwinden Sterne, wenn sie vom hellen oder dunkeln Mondrand verdeckt werden, plötzlich, ohne daß man auch nur die geringste Strahlenbrechung hätte feststellen können. Auf dem Mond gibt es also keine Luft im Sinne des gewöhnlichen Sprachgebrauches. Dies beweist auch der Umstand, daß die von Mondbergen und anderen Unebenheiten geworfenen Schatten pechschwarz und scharf begrenzt sind, jedenfalls nicht annähernd so gedämpft oder verschwommen, wie bei irdischen Verhältnissen, wo die Luft die Kontraste mildert. Gibt es irgend eine Mondatmosphäre, so dürfte sie 10 000mal dünner sein als die irdische, eine Dichte, die wir praktisch einem Vakuum gleichsetzen. Man hat für die der Sonne zugekehrte heiße Seite des Mondes Temperaturen weit über 100 und für die Nachtseite tief unter - 50 Grad Celsius berechnet. Da heller Tag und dunkle Nacht ohne Dämmerungsübergänge der Hälfte eines synodischen Monates entsprechend je zwei Wochen dauern, erzeugen die langperiodischen und bedeutenden Temperaturschwankungen ein eigenartiges „Mondklima". Die langen Nächte auf dem Mond werden

übrigens von der sonnbeschienenen Erde, deren Scheibe als Fläche 13mal größer erscheint als uns der Mond, erleuchtet. Wir haben einen sichtbaren Beweis hiefür, denn das sogenannte „aschgraue Licht", das die Mondsichel mitunter zur vollen Scheibe ergänzt, ist nichts anderes als Sonnenlicht, das die Erde auf den Mond zurückwirft.

(9) Oberfläche. Die stets wechselnde Schattengrenze, die Stellung der Mondphasen in bezug auf den Horizont, dann die Librationen machen den Mond zu einem abwechslungsreichen teleskopischen Beobachtungsgegenstand. Physisch ist er freilich eine tote Welt, Veränderungen an Oberflächenformationen sind bisher nicht zuverlässig festgestellt worden. — Da ein gewöhnliches astronomisches

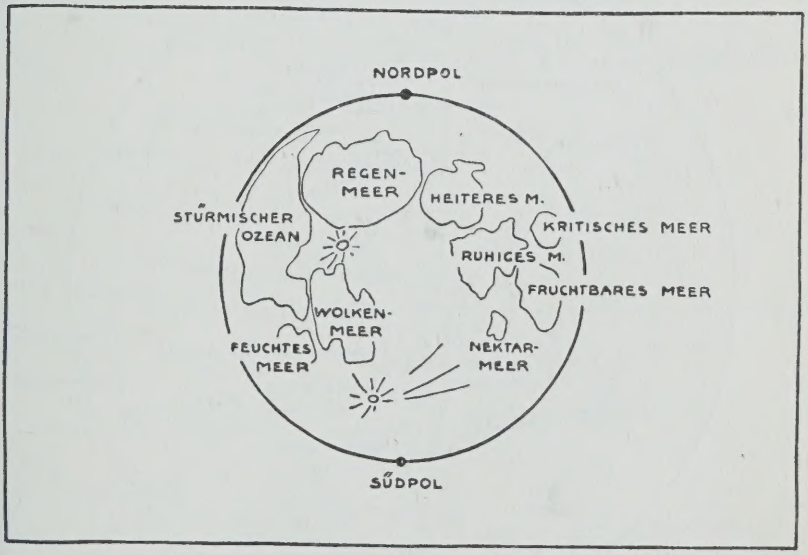


Bild 169. Skelettkarte der Mondmeere. Unter dem Regenmeer Krater Kopernikus, unter dem Wolkenmeer Krater Tycho, beide mit Strahlensystemen

Fernrohr die Gegenstände verkehrt zeigt, stellen viele Astronomen den Mond auch in Büchern, die sich nicht ausschließlich an Fernrohrpraktiker wenden, auf den Kopf, so daß Süd oben ist. Wir folgen diesem Brauch grundsätzlich nicht. Wir stellen Nord nach oben. Es ist dem Fachmann unendlich leicht, sich ein aufrechtes Mondbild im Nu verkehrt zu vergegenwärtigen, um es als Fernrohrbild zu erkennen. Eine minimale, schließlich auch nur rein seitliche Wendung des

Kopfes genügt, um das Mondbild sich so zu vergegenwärtigen, wie wir es aus der teleskopischen Praxis her zu sehen gewohnt sind.

(10) Meere. Die Lage der neun größeren Mondmeere zeigt die Skelettkarte Bild 169. Denken wir an das Mondgesicht, so breitet sich um das rechte Auge das Regenmeer, lateinisch Mare Imbrium, aus. Um das linke Auge — von uns aus gesehen das rechte, westliche — sind das heitere, ruhige und fruchtbare Meer gestellt, Mare Serenitatis, Mare Tranqillitatis und Mare Foecunditatis. An seiner linken Schläfe hat der Mann im Mond einen rundlichen Fleck, das kritische Meer,

Bild 170. Deckblatt zur Mondkarte in Bildtafel VIII. Die Ovale bedeuten verschiedene Krater. Gebirge nur angedeutet

Mare Crisium, ganz nahe dem Rand. Noch kleiner als dies ist das Nektarmeer, Mare Nectaris, neben dem fruchtbaren Meer, Mare Foecunditatis. In der Mundgegend liegen das Wolken- und das feuchte Meer, Mare Nubium und Mare Humorum. Die rechte Wange — von

uns aus links, östlich — nimmt das stürmische Meer ein, der Oceanus Procellarum. Bildtafel VIII läßt alle diese Meere erkennen. Bild 170 enthält eine größere mehr oder weniger willkürliche Auswahl von Objekten, besonders von Kratern, in schematischer Andeutung und mit den dazugehörigen Namen. Zu Bildtafel IX gehört Bild 171 gleichsam als Deckblatt.

(11) Gebirge und Krater. In der Übersichtskarte Bild 170

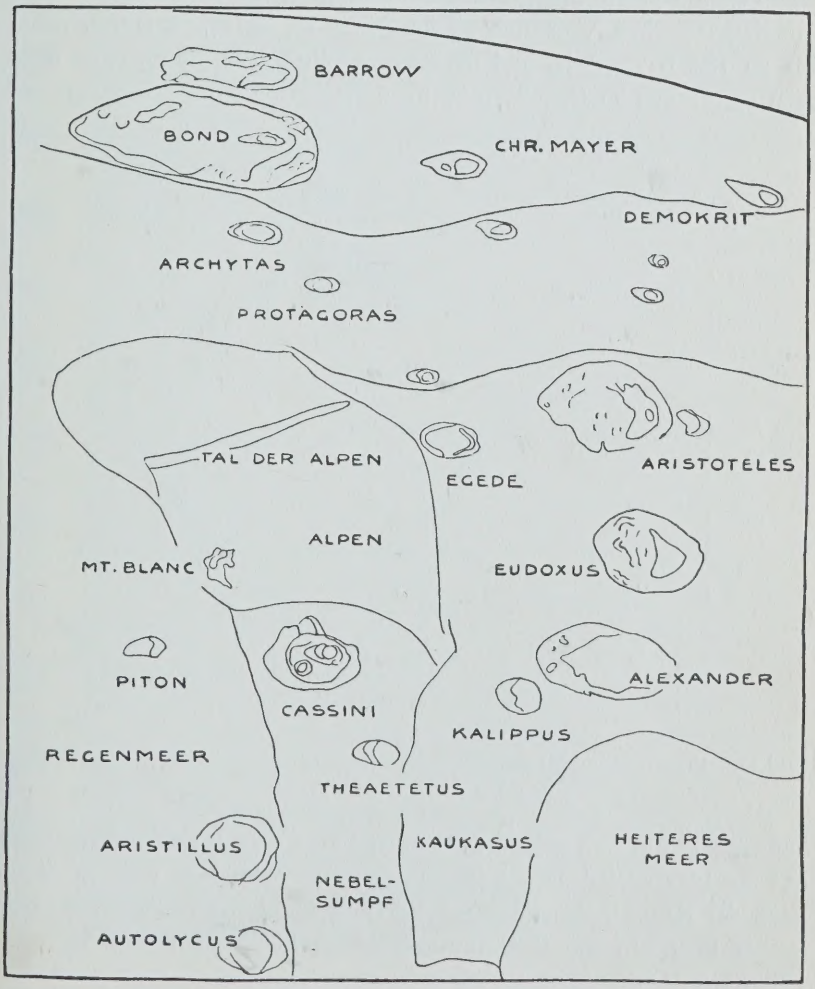


Bild 171. Deckblatt zu Bildtafel IX. Alpen- und Kaukasusgegend des Mondes

sind auch die wichtigsten Gebirge angedeutet, die Alpen, oben im Norden, südlicher Kaukasus und Apennin. Was die einzelnen Erhebungen anbelangt, so ist es möglich, aus der Länge des Schattenwurfs und der Sonnenhöhe über dem Mondniveau der betreffenden Gegend die Höhen der Berge zu ermitteln. Sie gehen bis zu 8000 Metern. Das sind, verglichen mit irdischen Verhältnissen, in Anbetracht der relativen Kleinheit des Mondes außerordentlich mächtige Massive. Die vielen runden Mondkrater sind in ihrer Form durchaus nicht mit den irdischen Vulkanen zu vergleichen. Sie haben Durchmesser bis zu 180 Kilometern und darüber. Doch würde man wegen ihrer relativ geringen Tiefe, mitten in ihnen stehend, oft nur eine Berg- und

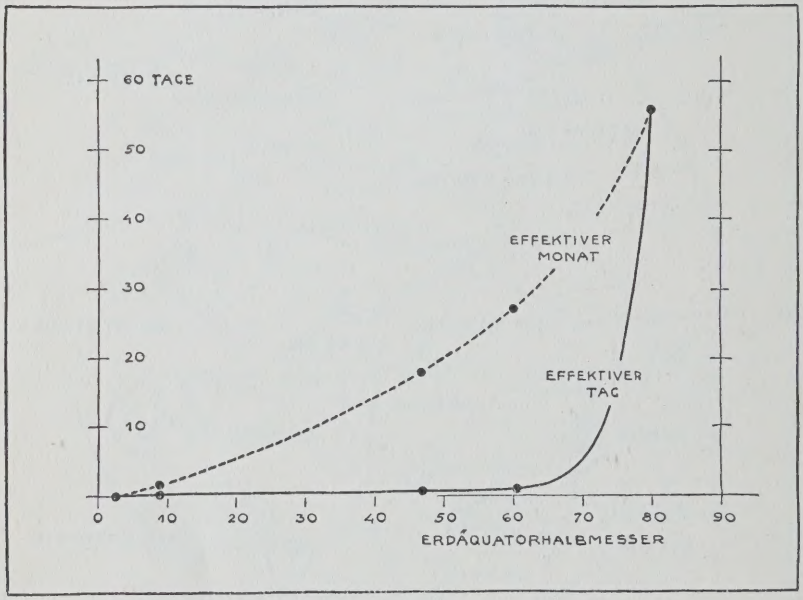
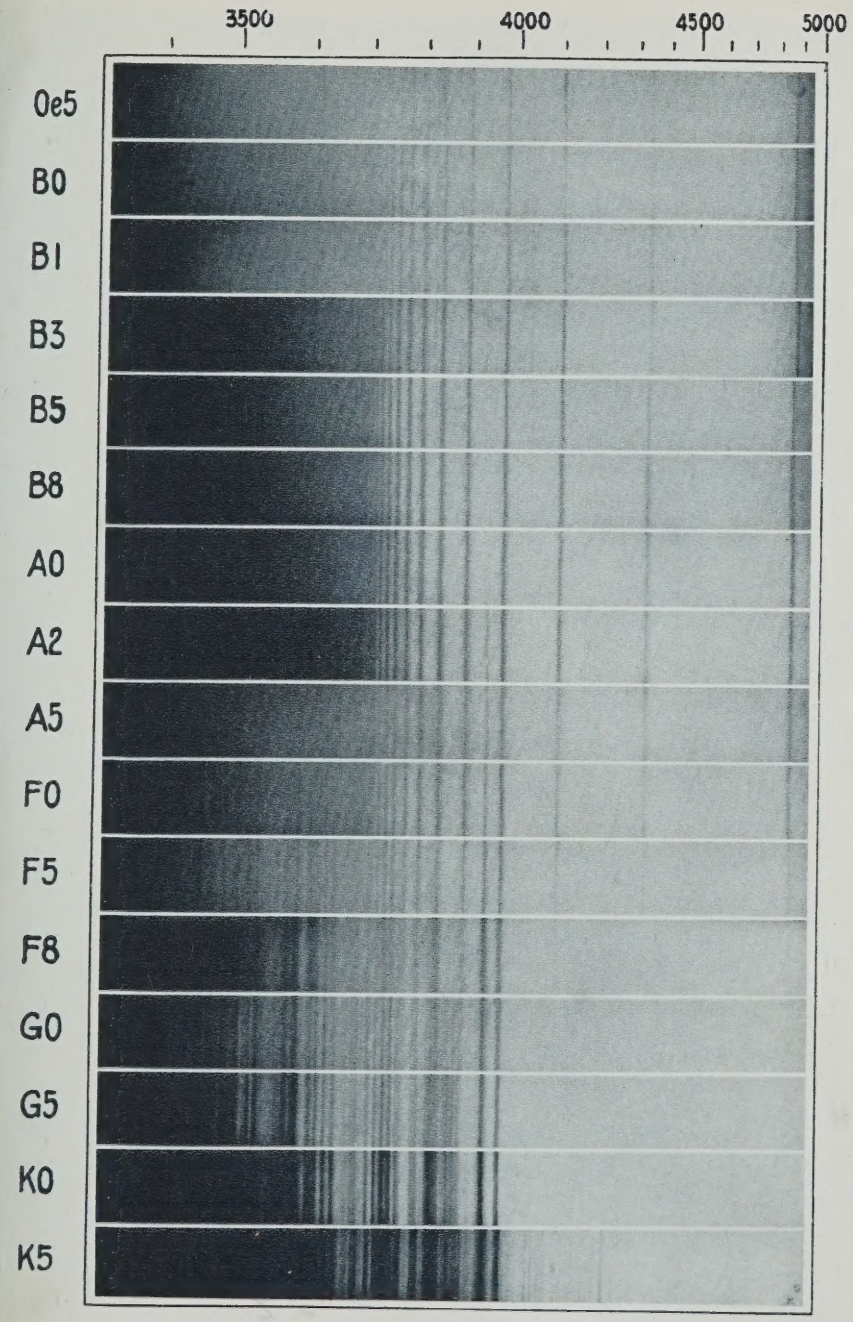


Bild 172. Rotationsverhältnisse des Systems Erde-Mond. Veranschaulichung eines kosmogonischen Problems

Hügelkette um sich gelagert sehen und voraussichtlich durchaus nicht auf die Idee verfallen, sich in einem Kraterschlund zu wähnen, wenn auch der Kraterboden tiefer als die Umgebung außerhalb des Kraterwalles liegt. In der Kratermitte sind oft kleine aber auffällige Erhebungen.

(12) Mondentwicklung. Wir können uns den Mond aus



Typische Sternspektren (Licksternwarte)

Kugelförmiger Sternhaufen im Herkules (Mount Wilsonsternwarte)

der Erde durch Abschnürung entstanden denken. Die ursprüngliche, Erd- und Mondkörper noch einheitlich in sich bergende Masse nahm nach einer mathematisch gut begründeten Hypothese bei der Rotation, deren Periode nur nach einigen wenigen Stunden zählte, längliche Gestalt an, vielleicht die eines dreiachsigen Ellipsoides. Dies erfuhr infolge unsymmetrischer Dichteverteilung eine Einschnürung, bis sich schließlich ein etwa $^1/_{81}$ der Gesamtmasse betragender Teil, aus dem sich unser Mond formen sollte, ablöste. In diesem Moment betrug die Entfernung Erdmitte - Mondmitte ungefähr 2½ jetzige Erdäquatorhalbmesser. Die weitere Entwicklung des immer weiter auseinander strebenden Systems Erde - Mond bis heute und auch die zukünftige geben nach derselben Hypothese Bild 172 und die folgende Tabelle an:

Entfernung „Erde bis Mond" in Erdäquatorhalbmessern	Sterntag der Erde	Siderische Umlaufszeit des Mondes
2½	5 Stunden	5 Stunden
9	$6^h\ 45^m$	$38^h\ 20^m$
47	$15^h\ 30^m$	$18^d\ 14^h$
$60^1/_3$	$23^h\ 56^m$	$27^d\ 07^h\ 43^m$
81	55 Tage	55 Tage

In der vorletzten Zeile der Tabelle ist der jetzige Zustand beschrieben. In der graphischen Darstellung ist unten die Entfernung Erde - Mond für die verschiedenen Zeiträume abzulesen. Der Sterntag der Tabelle heißt hier effektiver Tag, die Umlaufszeit des Mondes effektiver Monat. Wenn sich Erde und Mond auf 81 Erdhalbmesser voneinander entfernt haben, dann bedeuten ein solcher „Tag" und ein solcher „Monat" dasselbe. Erde und Mond kehren sich dieselbe Seite zu. Wann dies geschieht, läßt sich nur ganz andeutungsweise sagen. Vielleicht nach 50 Milliarden Jahren.

Als wir von den säkularen Störungen der Mondbahn sprachen — am Schluß des vierten Abschnittes in diesem dritten Teil — sagten wir, daß sich die Mondbahn allmählich verenge. Es steht dies nicht im Widerspruch mit der eben beschriebenen Vergrößerung der Monddistanz in kosmogonischen Zeiträumen. Die „säkulare" Erscheinung wirkt sich vielleicht noch einige Jahrtausende aus; sie kann als

vorübergehendes Zwischenspiel in den nach vielen Milliarden von Jahren zählenden Zeitläufen der kosmogonischen Hypothese angesehen werden.

(13) Kraterhypothesen. Hinsichtlich der Entstehungsgeschichte der runden Krater ist man bis heute nur auf Annahmen angewiesen. Eine Gezeitenhypothese scheint manches zu erklären, was andere, wie die Blasen-, Vulkan- und Meteoriteneinschlagshypothese und die meteorische Explosionshypothese nicht im selben Umfang zu beschreiben vermögen. In der Zeit seiner Entstehung oder später, jedenfalls als der Mond nach obiger Tabelle rascher als gegenwärtig relativ zur Erde um seine Achse rotierte, wechselten Ebbe und Flut bedeutend rascher ab als jetzt. Aus dem Inneren sogen gegen die Erde gerichtete störende Kräfte das glühende Mondmagma an den widerstandsschwächeren Stellen der festen Mondkruste heraus. Gleich folgende Ebbe ließ die Masse wieder ins Mondinnere fließen. Wiederholte derartige Vorgänge ließen dabei konzentrische Wälle erstarrter Masse zurück, bis schließlich der Schlund im Moment eines letzten Herausdringens innerer Masse erstarrte. Der stets kreisrunde Kraterwall und zentrale Erhebungen finden so eine Erklärung.

SECHSTER ABSCHNITT
FINSTERNISSE

Finsternisschema / Statistik / Jährlicher Rhythmus / Knoten und Saros-periode / Mondfinsternis / Kernschatten und Halbschatten / Färbungen / Sonnenfinsternis / Kongreßfinsternis 1932 / Europäische Finsternisse / Totalität

(1) Finsternisschema. Eine Mondfinsternis tritt ein, wenn die Erde zwischen Mond und Sonne steht. Sie ist eine tatsächliche Verdunkelung des Mondes bei dessen Eintritt in den von der Erde in den Weltraum geworfenen 1,4 Millionen Kilometer langen kegelförmigen Schatten. Hingegen ist eine Sonnenfinsternis — Mond zwischen Erde und Sonne — nur eine optische Bedeckung der Sonne für gewisse Erdgegenden. Diese immerhin gebotene Scheidung beider Erscheinungen, Finsternis und bloße Bedeckung, würde dann wegfallen, wenn man die Sonnenfinsternis folgerichtig Erdfinsternis nennen wollte, denn so wie bei der Mondfinsternis der Mond in den Erdschatten tritt, so tritt die Erde, wenn auch nur mit kleinen Teilen ihrer Oberfläche, in den Mondschatten. — Da Mondfinsternisse möglichst idealen Vollmonden, Sonnenfinsternisse möglichst idealen Neumonden entsprechen, so treten Finsternisse zunächst nur ein, wenn der Mond in der Nähe der Ekliptik ist, und da die Mondbahn mit rund 5 Grad gegen die Ekliptik geneigt ist, nur in der Nähe eines Bahnknotens.

(2) Statistik. Taucht der Mond ganz in den Erdschatten ein, dann heißt die Mondfinsternis vollständig oder total. Geschieht dies selbst in der Mitte der Finsternis nur zum Teil, dann heißt sie teilweise oder partiell. — Verdeckt, wenn auch nur für einen Punkt der Erdoberfläche, der Mond die Sonne ganz, dann spricht man von vollständiger oder totaler Sonnenfinsternis, sonst von teilweiser oder partieller. Dabei müssen wir örtlichen und geographischen Verlauf einer Sonnenfinsternis voneinander unterscheiden, während eine Mondfinsternis ein geographisch gleichzeitiges Ereignis ist. Steht der Mond bei einer Sonnenfinsternis der Sonne relativ nah, oder ist

die Sonne relativ erdnah, oder ist beides gleichzeitig der Fall, dann kann die scheinbare Größe der Mondscheibe nicht ausreichen, um die Sonne ganz zu verdecken. Man nennt diese Finsternis nicht partiell, sondern eine ringförmige Sonnenfinsternis. Bei ihr umgibt ein heller Kreisring der blendenden Sonnenscheibe den dunkeln Mond. Ist eine Finsternis für gewisse Erdgegenden ringförmig, für andere Gegenden der Erde jedoch total, dann nennt man die Erscheinung ringförmig-total. Totale und ringförmige wie ringförmig-totale Sonnenfinsternisse nennt man auch zentrale, doch wird letztere Bezeichnung folgerichtiger für die Mond- und Sonnenfinsternisse verwendet, bei denen Erd-, Mond- und Sonnenmitte genau eine Gerade bilden. — Über die Häufigkeit der einzelnen Finsternisarten soll die Tabelle hier Auskunft geben. Sie gilt für die Erde als Ganzes.

	In 10 Jahren	In einem Jahr	
		im Mittel	höchstens
Mondfinsternisse:			
totale	7		
teilweise	8		
zusammen	15	1—2	2
Sonnenfinsternisse:			
totale	7		
ringförmig-totale	1		
ringförmige	8		
teilweise	8		
zusammen	24	2—3	5
Finsternisse überhaupt	39	4	7

(3) Jährlicher Rhythmus. Die Finsternisse treten für die Erde als Ganzes im allgemeinen in Gruppen auf. Innerhalb einer solchen wechseln Sonnen- und Mondfinsternisse miteinander ständig ab, wobei gewöhnlich eine Finsternis — bei dreien die mittlere — eine besonders ausgeprägte, etwa eine totale ist. Die Gruppen selbst folgen in ungefähr halbjähriger Periode aufeinander, die Finsternisse innerhalb einer Gruppe in vierzehntägigen Intervallen, wie die folgende Finsternistafel für 1917 zeigt:

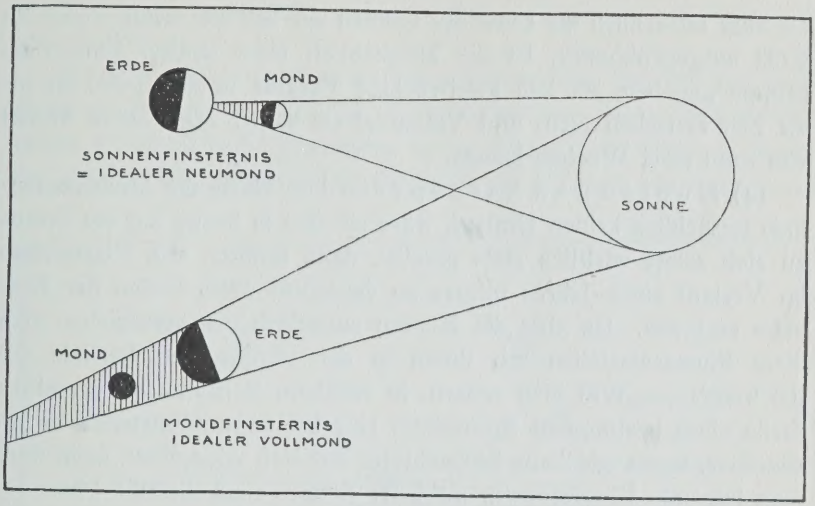


Bild 173. Schema der Finsternisse

Gruppen	Zwischenzeiten	
Erste Gruppe:		
(24. XII.) teilweise Sonnenfinsternis	2 Wochen	
8. I. totale Mondfinsternis		
23. I. teilweise Sonnenfinsternis	2 Wochen	½ Jahr
Zweite Gruppe:		
19. VI. teilweise Sonnenfinsternis	2 Wochen	
4. u. 5. VII. totale Mondfinsternis		
19. VII. teilweise Sonnenfinsternis	2 Wochen	½ Jahr
Dritte Gruppe:		
14. XII. ringförmige Sonnenfinsternis	2 Wochen	
28. XII. totale Mondfinsternis		

Der halbjährige Rhythmus ist dadurch bedingt, daß von ihrem relativ langsamen Rücklauf zunächst abgesehen die Knotenlinie der Mondbahn zu sich selbst parallel bleibt und Erdschatten sowie Mondschatten infolge der Mondbahnneigung gegen die Ekliptik eben nur dann verfinsternd wirksam sind, wenn sie die Richtung der Knotenlinie haben, was, da sich der Strahl Sonne-Erde im Verlauf des Jahres um 360 Grad dreht, nur zweimal im Jahr vorkommen könnte.

Da aber tatsächlich die Linie der Knoten der um die Sonne laufenden Erde entgegenkommt, ist die Möglichkeit einer dritten Finsternisgruppe gegeben. — Die zweiwöchige Periode in der Tafel ist als die Zeit zwischen Neu- und Vollmond ein halber synodischer Monat von rund zwei Wochen Länge.

(4) Knoten und Sarosperiode. Hätte die Mondknotenlinie tatsächlich keinen Umlauf, wäre sie also in bezug auf die Sterne zu sich selbst wirklich stets parallel, dann müßten sich Finsternisse im Verlauf eines Jahres immer an denselben zwei Stellen der Erdbahn ereignen. Da aber die Knoten zurückrücken, verschieben sich diese Finsternisstellen mit ihnen in der 18,6jährigen Periode des Rücklaufs. — Will man wissen, in welchem Zeitraum an derselben Stelle eines bestimmten Sternbildes eine bestimmte Finsternis in bestimmter, sagen wir heute beobachteter Art sich wiederholt, dann muß man folgende Überlegungen machen: Erstens muß dieselbe Phase — Neumond bei Sonnen-, Vollmond bei Mondfinsternissen — zum soundsovielten Male gerade wiederkehren, d. h. es muß ein Vielfaches des synodischen Umlaufes im entscheidenden Moment voll abgelaufen sein. Zweitens muß, wenn die Erscheinung im selben Sternbild stattfinden soll, ein ganzes Vielfaches einer siderischen, auf die Sterne bezogenen Umlaufsdauer abgelaufen sein und drittens auch, wenn auch weniger wichtig, ein ganzes Vielfaches einer tropischen Umlaufszeit. Viertens muß in Anbetracht der großen Wichtigkeit der Mondentfernung, die sich im anomalistischen Monat periodisch ändert, auch ein Vielfaches dieses Zeitraumes ganz in der gewünschten großen Periode enthalten sein. Von früher her wissen wir, daß dies alles die Sarosperiode leistet, deren Länge 18 Jahre 10 Tage beträgt, so daß sich bei rohen Überschlagsrechnungen mit genügender Sicherheit aus einem beliebigen Kalender die Finsternisse für die Zeit nach 18 Jahren „prophezeien" lassen. Als Beispiel hiefür stellen wir die Finsternisse für 1906 sowie für 1924, also 18 Jahre später, zusammen:

Finsternisart	Datum 1906	Datum 1924
totale Mondfinsternis	9. II.	20. II.
teilweise Sonnenfinsternis	23. II.	5. III.
teilweise Sonnenfinsternis	21. VII.	31. VII.
totale Mondfinsternis	4. VIII.	14. VIII.
teilweise Sonnenfinsternis	20. VIII.	30. VIII.

Die Zwischenzeit von 18 Jahren und 10 Tagen stimmt überall bis auf einen Tag.

(5) Mondfinsternis. Bei erdzentrischer Betrachtung empfiehlt es sich, für die Zeit der Vollmondstellung Sonne und knotennahen Mond einander gegenüber in der Ekliptik wandern zu lassen. Im Schema Bild 174 wandert die Sonne in 4 Tagen nur langsam, in

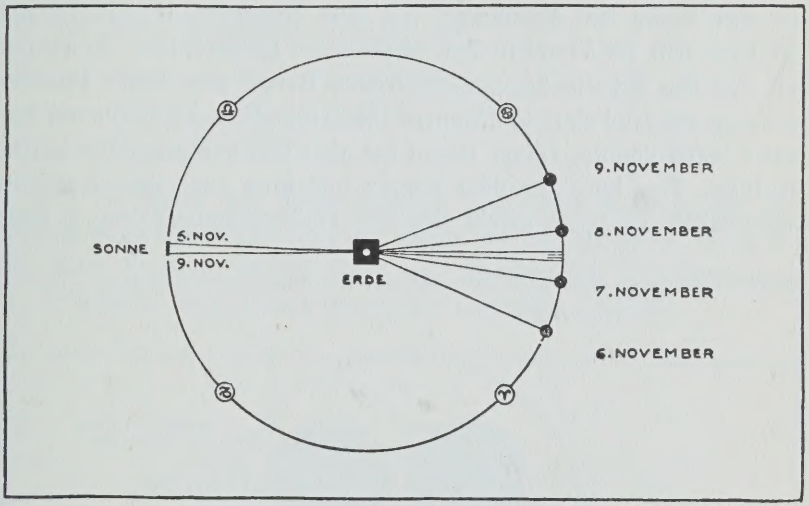


Bild 174. Sonnen- und Mondlauf, Zeitpunkt einer Mondfinsternis

derselben Zeit der Mond, ihr gegenüber, rascher die Ekliptik entlang. Nur im schmalen Sektor, den bezeichneten vier Sonnenörtern gegenüber, kann der Mond verfinstert werden. — In Mondentfernung mißt der Querschnitt des Erdschattens durchschnittlich 41 Bogenminuten im Halbmesser, so daß er den des Mondes nahezu dreimal übertrifft (Bild 175). Die angegebene Zahl 41 ist nur ein Durchschnitt und kann 4 Bogenminuten mehr oder weniger betragen. Sie ist von den Schwankungen abhängig, die die Entfernungen Sonne-Erde und Erde-Mond erfahren. Der Spielraum für die Lage des Mondes hinsichtlich der Erdschattenmitte ergibt sich für eine totale und für eine Mondfinsternis überhaupt aus der Differenz $41 - 15\frac{1}{2} = 25\frac{1}{2}$ Bogenminuten und $41 + 15\frac{1}{2} = 56\frac{1}{2}$ Bogenminuten. Diese durchschnittlichen Beträge geben gleichzeitig die größte erlaubte Abweichung der Mondmitte von der Ekliptik, denn die Erdschattenmitte

liegt an der Himmelskugel der die Ekliptik beschreibenden Sonnenmitte genau gegenüber. Da der Erdschatten in der Ekliptik dieselbe Geschwindigkeit hat, wie die Sonne und wir diese wie die Mondgeschwindigkeit kennen, können wir die Dauer des Durchganges der Mondscheibe durch den Erdschattenquerschnitt ermitteln. Sie beträgt für den Fall zentraler Verfinsterung rund 4 Stunden.

(6) Kernschatten und Halbschatten. Vor und nach der Berührung der Mondkugel mit dem eigentlichen Schattenkegel der Erde tritt der Mond in den sogenannten Halbschatten. So nennen wir den den Schattenkegel umhüllenden Raum, von dessen Punkten aus man während einer bestimmten Finsternisphase die Sonne nur teilweise sehen könnte. Dieser Raum hat aber fast nur geometrische Bedeutung. Nur kurz vor dem Beginn und kurz nach dem Ende der eigentlichen Finsternis macht sich eine Halbschattenwirkung in einer

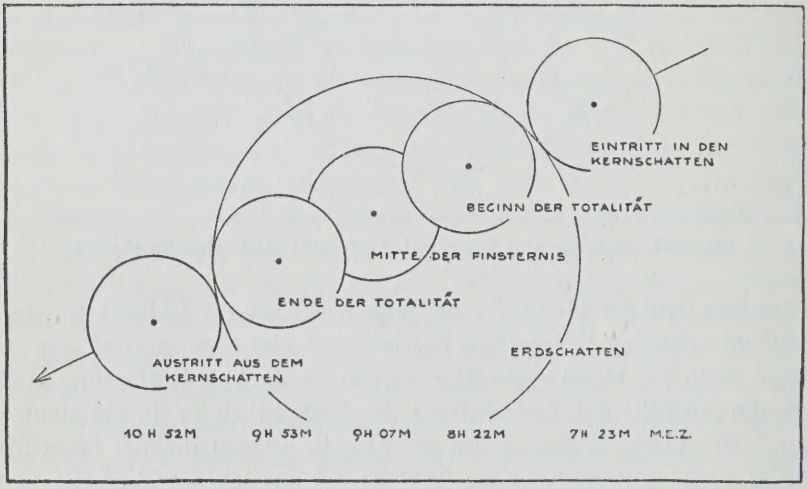


Bild 175. Totale Mondfinsternis vom 2. April 1931. Wanderung des Mondes (kleine Scheibe) durch den Erdschatten (große Scheibe)

scheinbaren Verfrühung oder Verspätung von Eintritt und Austritt bemerkbar und verursacht im wesentlichen eine Verschwommenheit des Erdschattenrandes. Eine Finsternisanzeige bringt im allgemeinen 7 Zeitangaben. Für den Abend des 2. April 1931 z. B. lauteten diese (Bild 175) in mitteleuropäischer Zeit:

Eintritt in den Halbschatten	$6^h\ 27^m$
Eintritt in den Kernschatten	$7^h\ 23^m$
Beginn der Totalität	$8^h\ 22^m$
Mitte der Finsternis	$9^h\ 07^m$
Ende der Totalität	$9^h\ 53^m$
Austritt aus dem Kernschatten	$10^h\ 52^m$
Austritt aus dem Halbschatten	$11^h\ 48^m$

Aus diesen Angaben entnehmen wir:

Dauer der Finsternis überhaupt . . .	$5^h\ 21^m$
Dauer der Kernschattenfinsternis . . .	$3^h\ 29^m$
Dauer der Totalität	$1^h\ 31^m$

Die Finsternis war keine zentrale. Der erste Kontakt mit dem Kernschatten erfolgte bei 130, der zweite bei 324, der dritte bei 94 und der vierte Kontakt bei 287 Grad, am Mondumfang vom Nordpunkt der Scheibe in der Richtung gegen den Uhrzeiger gezählt.

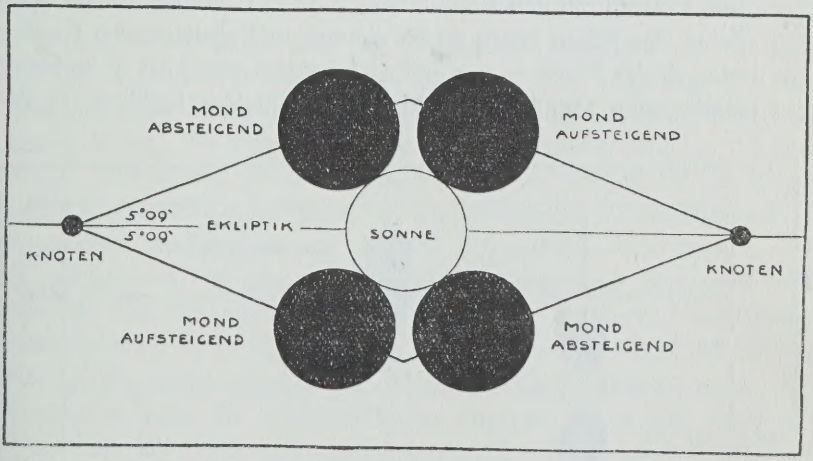


Bild 176. Größte Distanz der Mondbahnknoten bei Sonnenfinsternissen

(7) Färbungen. Rein geometrisch betrachtet müßten die Mondteile, die im Kernschatten stecken, schwarz, besser gesagt unsichtbar sein und es müßte der Mond während der Totalität überhaupt verschwinden. Dies ist nicht der Fall, er weist vielmehr gelblichrote, kupferrote, braune und tintige Töne auf. Es kommt dies

daher, daß die die Erdkugel umgebende Lufthülle die Sonnenstrahlen längs der geographischen Schattengrenze in den Kernschattenkegel hineinbricht. Da die Luft das Sonnenlicht stark filtriert und dessen blaue Strahlen im allgemeinen verschluckt, gehen mehr rote und braune Farbtöne durch und färben den Mond.

(8) Sonnenfinsternis. Im Gegensatz zu den Mondfinsternissen, die sich für alle Erdorte gleichzeitig abspielen, zeigt eine Sonnenfinsternis für die einzelnen Punkte der Erdoberfläche verschiedene Bilder, doch kann sie auch auf die Erde als Ganzes bezogen werden und so eine kosmische Monographie erhalten. Lassen wir den ganz und gar seltenen Fall, daß Sonnen- und Monddurchmesser genau denselben Winkeldurchmesser zeigen, beiseite, so ergeben sich für die Erde als Ganzes bei vollständiger Bedeckung — Winkeldurchmesser des Mondes größer als der der Sonne — vier „Kontakte": ein erster Kontakt bei Beginn der Finsternis, ein zweiter und dritter bei Beginn und Ende der Totalität, ein vierter bei Schluß der Finsternis überhaupt. Die Bedingung einer Sonnenfinsternis überhaupt, etwa für die Erdmitte, kann durch den Rhombus in Bild 176 veranschaulicht werden. Seine vier Seiten gehen durch die auf- und absteigenden Knoten vor und nach der Sonne — vor und nach zeitlich gerechnet — im Sinne des rechtläufigen Mondes. Die Mondscheibenbilder berühren in der

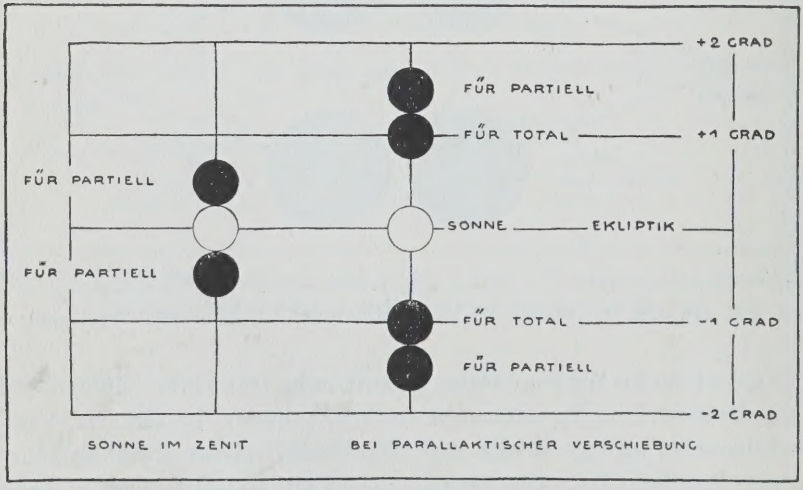


Bild 177. Grenzen für das Zustandekommen einer Sonnenfinsternis

Zeichnung gerade die Sonne und so lassen sich die größten Längenunterschiede „Knoten-Sonnenmitte" herauslesen, bei denen knapp noch eine Sonnenfinsternis möglich ist. Von der rechten Knotenstelle bis zur Neumondstellung hat der Mond rund 17 Grad Ekliptiklänge zurückzulegen und ebensoviel von Neumond bis zur linken Knotenstelle. Es entsprechen diese Zahlen den Mondörtern $1^1/_3$ Tage vor wie nach Neumond. — Soll sich überhaupt eine Sonnenfinsternis ereignen, für einen beliebigen Punkt der Erde gedacht, dann gibt das schematische Bild 177 Beispiele, welche extremen Ekliptikbreiten der Mond gerade noch einnehmen darf: 1. Für eine partielle Finsternis, wenn die Sonne im Zenit ist: die Mondbreite darf ½ Grad nicht überschreiten; 2. allgemein für eine totale Finsternis: die Mondbreite darf rund 1 Grad betragen, denn um diesen Betrag verschiebt sich der Mond am Himmel, wenn man etwa von den Punkten der Erde, die von der Ekliptikebene am weitesten entfernt sind, zum Mond blickt. Wir meinen die Punkte, die man bei ungenauer Sprechweise „Nordpol und Südpol" heißen würde. Für partielle Verfinsterung kann die Ekliptikbreite des Mondes schließlich noch 1½ Grad betragen. Ein Betrag über diese 1½ Grad hinaus macht eine Sonnenfinsternis unmöglich.

(9) Kongreßfinsternis 1932. Die geographische Auswirkung einer Sonnenfinsternis soll Bild 178 als Beispiel veranschaulichen helfen. Es gilt der totalen Sonnenfinsternis vom 31. August 1932. Wir wollen sie — weil sie zeitlich und örtlich für die Einberufung des ersten amerikanischen astronomsichen Weltkongresses in Cambridge maßgebend war — die Kongreßfinsternis nennen. Die Totalitätszone lief, aus der nördlichen Polargegend kommend, über Kanada und Neuengland, etwas nördlich von Cambridge und Boston vorbeigehend bis in die Mitte des Atlantischen Ozeans. Die übrigen Linien der Karte geben die Grenzen des Finsternisgebietes an, insbesondere auch die Erdstreifen für Beginn, Mitte und Ende der Finsternis bei Sonnenauf- und Untergang. Die Finsternisdaten, in Greenwicher mittlerer Zeit ausgedrückt, waren folgende:

Konjunktion von Sonne und Mond	=	$7^h\ 17^m$ nachmittag
gemeinsame Rektaszension	=	$10^h\ 39^m$
Deklination der Sonne	=	$+8^0\ 31'$
Deklination des Mondes	=	$+9^0\ 26'$
Deklinationsunterschied	=	$55'$

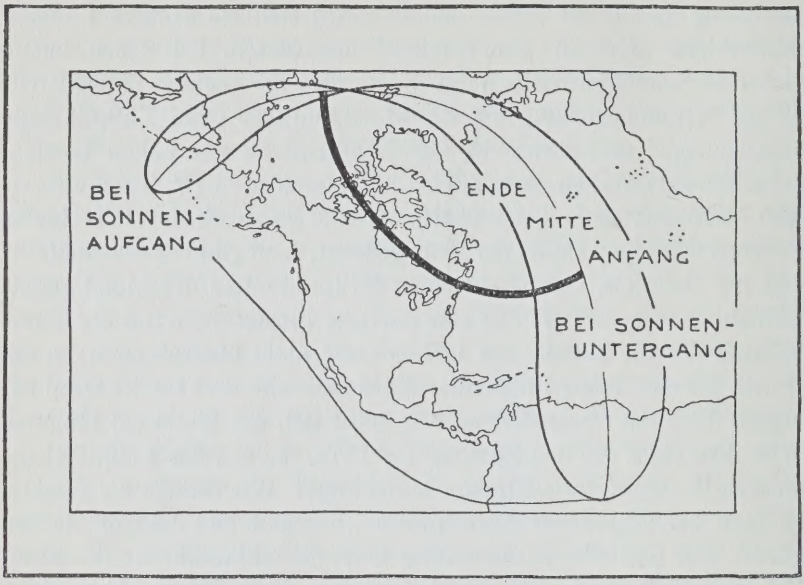


Bild 178. Totale Sonnenfinsternis als geographische Erscheinung, 31. August 1932. Finsternisgebiet um Nordamerika herum. Der kräftige Streifen bedeutet die Totalitätszone.

Sonnendurchmesser	=	31′ 42″
Monddurchmesser	=	32′ 12″
Durchmesserunterschied	=	30″

Beginn der Finsternis überhaupt	$5^h\ 44^m$	abend
Beginn der zentralen Finsternis	$7^h\ 04^m$	„
Ende der zentralen Finsternis	$9^h\ 02^m$	„
Ende der Finsternis überhaupt	$10^h\ 22^m$	„

Hieraus folgt:

Dauer der Finsternis überhaupt	$4^h\ 38^m$
Dauer der zentralen Finsternis	$1^h\ 58^m$

Für jeden einzelnen Erdort hatte das Register der Finsternisdaten ein anderes Aussehen. Für die Beobachtungsstation North Conway im Staat New Hampshire galt beispielsweise die folgende Tabelle, in der die Zeiten amerikanische Ost-Standardzeit — Mittag mit Null Uhr bezeichnet — bedeuten:

Geographische Position: 44° nördliche Breite, 71° westliche Länge.

Beginn der Finsternis	$2^h\ 19^m\ 33^s$
Beginn der Totalität	$3^h\ 28^m\ 19^s$
Ende der Totalität	$3^h\ 29^m\ 58^s$
Ende der Finsternis	$4^h\ 33^m\ 27^s$
Dauer der Finsternis	$2^h\ 13^m\ 54^s$
Dauer der Totalität	$1^m\ 39^s$
Sonnenhöhe	30 Grad
Schattengeschwindigkeit	905 Meter je Sekunde

Der momentane Mondschatten hatte die in Bild 179 angegebene Figur und Größe. Die zu den elf untereinander parallelen Linien geschriebenen Zeitdauern beziehen sich auf die Länge der Totalität für

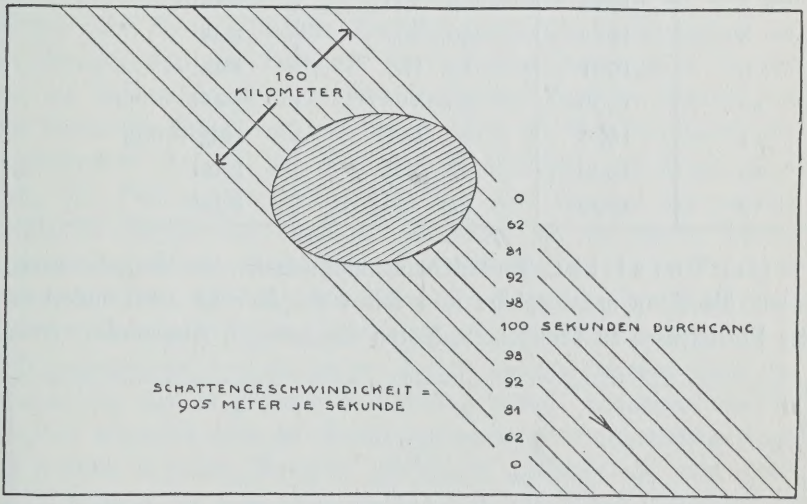


Bild 179. Totale Sonnenfinsternis als lokale Erscheinung, 31. August 1932. Station North Conway, New Hampshire. Größe, Form und Geschwindigkeit des Mondschattens

Orte, die auf den betreffenden Linien lagen. Aus der Zeichnung und den Daten ist zu entnehmen, daß die Station North Conway mit ihrer Totalitätsdauer von 99 Sekunden kaum 16 Kilometer abseits von der mathematisch genauen Mitte der Totalitätszone lag. Die Finsternisdauer betrug überall, für jede einzelne Station gerechnet, weniger als 1¾ Minuten. Sonst kommen Totalitätsdauern bis zu 6 Minuten und

darüber vor. Der theoretisch als Maximum sich ergebende mögliche Höchstwert von $7\frac{1}{2}$ Minuten ist eine ganz extreme Seltenheit.

(10) Europäische Finsternisse. Im zwanzigsten Jahrhundert ereigneten und ereignen sich für Europa elf totale, eine ringförmig-totale und eine ringförmige Sonnenfinsternis.

Nr.	Jahr	Tag	Art der Finsternis
1	1905	30. VIII.	total
2	1907	14. I.	total
3	1912	17. IV.	ringförmig-total
4	1914	21. VIII.	total
5	1927	29. VI.	total
6	1936	19. VI.	total
7	1945	9. VII.	total
8	1954	30. VI.	total
9	1961	15. II.	total
10	1966	20. V.	total
11	1976	29. IV.	ringförmig
12	1990	22. VII.	total
13	1999	11. VIII.	total

(11) Totalität. Trotzdem es möglich ist, die Protuberanzen sowie die Sonnenatmosphäre und selbst die Korona auch außerhalb der Finsternisse zu beobachten, bieten die wenigen Augenblicke einer

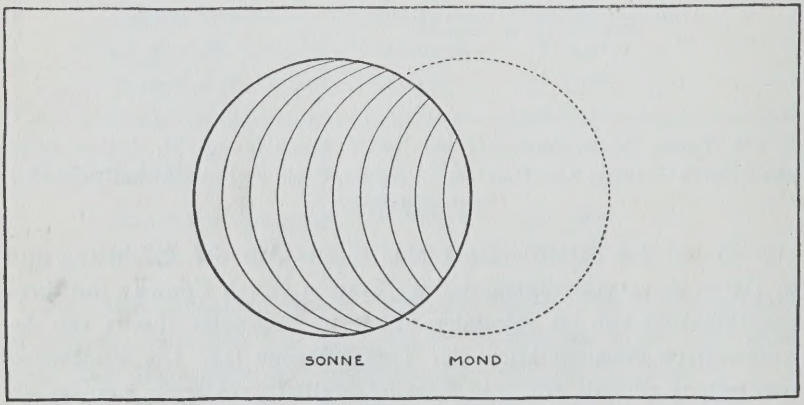


Bild 180. Zentrale totale Sonnenfinsternis. Zehn Phasen gleicher Zeitintervalle

Totalität doch eine überragend ergiebige Quelle verschiedenster Beobachtungs- und Forschungsmöglichkeiten nicht nur astronomischer, sondern auch meteorologischer und anderer Art. Beim Verlauf einer derartigen Finsternis sind folgende Erscheinungen besonders bemerkenswert: Der sich von rechts nach links vor die Sonne schiebende Mond deckt, mit dem „ersten Kontakt" beginnend, kontinuierlich wachsende, kreisförmig begrenzte Teile der Sonne zu (Bild 180). Kurz vor dem zweiten Kontakt ist die Landschaft in die Dunkelheit tiefer Gewitterstimmung gehüllt. Da nun der Mond infolge seiner Gebirgszüge und Kratererhebungen ein welliges Profil besitzt, leuchten kurz vor voller Bedeckung der Sonne aus den Satteln des linken Mondrandes die letzten Strahlen hervor. Der Name Perlschnurphänomen hiefür ist gut gewählt, nur muß man wirklich an Perlen aus glühendster Sonnenmasse denken. „Fliegende Schatten" eilen als welliges Muster über die Landschaft. Sie sind durch die Unebenheiten des Mondrandes und die Zustände der irdischen Atmosphäre, in der sich ein regelrechter kühler „Finsterniswind" regt, zu erklären. — Die Sekunden knapp vor, wie knapp nach der Totalität lassen die „umkehrende Schicht" der Sonnenatmosphäre ohne blendende Wirkung der Photosphäre beobachten. Mit dem Moment des zweiten Kontaktes beginnt die Totalität. Die Helle ist von einem Nachthimmel oder tiefstem Dämmerungszustand abgelöst. Es werden helle Sterne sichtbar. Bei lang dauernden Totalitäten ist der beschattete Teil der Erdoberfläche entsprechend größer und die Dunkelheit deshalb ausgeprägter, weil die angrenzenden sonnbeschienenen Teile der Atmosphäre sich in größerer Entfernung halten. Sozusagen erst in Etappen erscheint dem der Dunkelheit noch nicht angepaßten Auge die Korona in immer breiterer Entfaltung, gestattet aber den roten Protuberanzen, den Koronaschleier dicht am schwarzen Mondrand zu durchdringen. Unbeschreibbar interessante und wertvolle Augenblicke wechseln einander ab. Die erfolgte Anpassung des Auges läßt die Wende um den dritten Kontakt, ein Spiegelbild des zweiten, intensiver erfassen. Märchenhaft ist das Spiel der satten Farben, in denen sich einem die tieferen Himmelsteile und die Landschaft im Augenblick des neuen ersten Sonnenstrahles darbieten. Der nahe Wald leuchtet braunviolett, bevor er in alltäglichem Grün erscheint, und tiefes, feuriges Himmelsgelb geht dem bleibenden Blau des Himmels unmittelbar voraus.

SIEBENTER ABSCHNITT
KOMETEN

Kometenbild / Größe der Kometen / Namen und Statistik / Bahnformen / Ursprung der Kometen / Kometensichtbarkeit / Reduzierungsgesetz / Periodische Kometen / Kometenfamilien / Bau und Masse der Kometen / Physikalische Vorgänge / Chemische Zusammensetzung / Halleyscher Komet / Kometen 1843 und 1858 / Septemberkomet 1882 / Bielascher Komet / Leonidenkomet

(1) Kometenbild. Kometen, früher auch Schweifsterne oder Haarsterne genannt, sind als helle, auch für das freie Auge auffällige Himmelserscheinungen verhältnismäßig selten. Wenn man ältere Drucke durchblättert, so findet man immer dasselbe typische Bild: irgendwo unter den Sternen, ohne irgend einen Bezug auf den Ekliptikgürtel, leuchtet sternartig ein heller Fleck, der Kometenkopf, mit noch hellerem Kern mittendrin. Der Kopf ist mitunter von weniger hellen Hüllen umgeben. Vom Kopf aus zieht sich fächerartig der Schweif dahin, geradlinig oder meistens gekrümmt, auch wellig, einfach oder geteilt, mitunter strukturreich oder etwas zerzaust, immer jedoch so, daß er von der Stelle, wo die Sonne abends verschwunden ist oder am Morgen aufgehen soll, wegzeigt. Teleskopische Kometen sind häufigere Erscheinungen und zeigen nur kleine Schweifansätze, oft nur Hüllen um den Kern, ohne daß man irgend eine bevorzugte Richtung im hellen Fleck festlegen kann. — Bildtafel XIII gibt eine photographische Aufnahme des Kometen Daniel wieder, der im August 1907 mit freiem Auge gut gesehen werden konnte. Die vielen parallelen Striche bedeuten Sternspuren. Sie zeigen, daß sich der Komet, wie alle anderen es tun, relativ zu den Sternen bewegte.

(2) Größe der Kometen. Sie sind Riesenexemplare im Vergleich mit unserer Erde, haben mitsamt dem Schweif Ausdehnungen bis zu 250 Millionen Kilometern, überbieten also mitunter die Entfernung Erde - Sonne. Der eigentliche Kern ist klein, mißt vielleicht nur wenige Kilometer querdurch, der ganze Kopf dagegen ist größer als der Erdball, mitunter dutzendmal größer als die

Erde. Die Gesamthülle mißt ein Vielfaches des Kopfes. Aus dem Vorübergang von Kometen vor Sternen und sogar vor der Sonnenscheibe konnte die fast restlose Durchsichtigkeit aller Kometenteile und aus dem Mangel jedweder störender Wirkung von Kometen auf kometennahe kleine Körper, z. B. die Jupitermonde, auf eine überaus geringe Masse und Dichte der Kometen geschlossen werden.

(3) Namen und Statistik. Die Kometen, deren es eine nach vielen Tausenden zählende Menge geben mag, sind selbst mit optischen Hilfsmitteln im allgemeinen nur dann wahrnehmbar, wenn sie nicht weiter als 5, in Ausnahmefällen 8 astronomische Einheiten entfernt sind. Sie erhalten die Namen nach ihrem Entdecker oder Wiederentdecker, gelegentlich auch nach dem Berechner ihrer definitiven Bahn. Zur Kennzeichnung gibt man den neu- oder wieder aufgefundenen Objekten als vorläufigen Namen die laufende Jahreszahl und einen Buchstaben. So hieß z. B. der berühmte Halleysche Komet bei seinem letzten Erscheinen 1909 c, weil er drittes Objekt dieses Jahres war. Als endgültigen Katalognamen erhalten die Kometen das Jahr zugewiesen, in dem sie in Sonnennähe waren, und eine römische Zahl, die angibt, der wievielte in Sonnennähe gestandene Komet jenes Jahres er war. So ist derselbe Halleysche der Komet 1910 II, unbeschadet seines anderen Zeichens 1909 c. Er heißt aber auch 1835 III nach seiner vorletzten Erscheinung usw. In den 18 Jahrhunderten von 101 bis 1900 waren genau 500 Kometen mit freiem Auge sichtbar. Die Anzahl für die ersten neun dieser Jahrhunderte beträgt 241, für die letzten neun Jahrhunderte 259. Besonders kometenreich war das 3., 9. und 15. Jahrhundert, wenn man sich auf die Chroniken einigermaßen verlassen darf. Auf ein Jahrzehnt fallen 3 bis 4 helle Kometenerscheinungen. Eine Statistik aller gut bestimmten Kometen überhaupt, vor allem auch der rein teleskopischen, enthält, nach dem Eintreffen der Kometen in Sonnennähe geordnet, die folgende Tabelle, in der zur Ermittlung der Jahreszahl die oben stehende Ziffer 1 bis 10 zu den runden Zahlen am linken Rand zu addieren ist.

Ein wiederholt erschienener Komet ist hier wiederholt aufgezählt. Einschließlich der allerältesten sind bis heute etwa 600 Kometen berechnet, während die überhaupt entdeckten rund 900 ausmachen dürften.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1800	1	1	0	1	1	2	1	2	0	1
1810	2	1	2	0	1	1	0	3	4	0
1820	1	4	1	2	4	5	3	0	1	2
1830	0	3	1	1	3	0	0	1	0	4
1840	0	2	3	3	4	8	6	2	3	2
1850	4	4	4	5	4	0	7	8	1	4
1860	3	4	6	5	2	2	3	3	3	4
1870	5	0	7	6	2	0	6	3	5	5
1880	8	3	2	3	5	9	5	5	6	7
1890	5	6	4	4	4	7	3	10	5	3

(4) Bahnformen. Die charakteristische Form der Kometenbahn ist die Ellipse, die hier im allgemeinen viel schlanker ist als die der Planeten. Die überwiegende Anzahl der Kometen läuft in derartig geschlossenen Linien. Die großen Achsen der Bahnellipsen sind bis 300 Milliarden Kilometer lang. — Im planetaren Maßstab 1 : 1 Milliarde ist die Erde eine Haselnuß im Vergleich zur wagenradgroßen Sonne. Im selben Maßstab ist ein Kometenkopf so groß wie ein Apfel oder auch wie ein Kürbis und der Schweif bis über hundert Meter, in einem Fall sogar über ein viertel Kilometer lang. Die Kometenbahnen kreuzen die Wege der Planeten, ziehen im übrigen — in diesem Milliardstelmodell — in Gegenden bis zu 300 Kilometern vom Sonnenmodell entfernt dahin. — Streng parabolische Bahnen sind selten. Vergleichen wir, wie wir es schon früher taten, im rein geometrischen Schema, wie in Bild 108, Ellipsen- und Hyperbelhäufigkeit mit der der Parabel, so finden wir, daß der Begriff der „Parabel" nur eine ideale Grenze, eine rein mathematische Scheidewand bedeutet. Schon die kleinste Störung kann aus einer Parabel eine Ellipse oder eine Hyperbel formen. Parabeln, selbst sehr parabelähnliche Hyperbeln, die für Kometen berechnet wurden, können in Anbetracht der immerhin bestehenden Messungsungenauigkeiten als parabelähnliche, äußerst langgestreckte Ellipsen angesehen werden.

(5) Ursprung der Kometen. Es können durch störende Einflüsse Umformungen der Bahnen stattgefunden haben. Die diesbezüglichen Nachrechnungen unter Berücksichtigung aller Störungen, die von den Planeten ausgingen, haben ergeben, daß die Kometen tatsächlich ihrem Wesen nach als periodisch umlaufende Objekte

ebenso Glieder unseres Sonnensystems sind, wie die Planeten und Kleinplaneten. Wenn wir später — im Abschnitt „Allgemeine Probleme" — etwas über die Entstehung der Planeten erfahren, so ist es vielleicht erlaubt, auch den Kometen eine der planetarischen ähnliche Kosmogonie zuzuschreiben. Trotzdem werden lange Bahnen, zu deren Durcheilen Jahrtausende benötigt werden, innerhalb des Raumbereiches unserer Beobachtung als „parabolisch" bezeichnet und als parabolische in den Kometenverzeichnissen angeführt. — Zur Festlegung einer solchen parabolischen Kometenbahn werden fünf Elemente benötigt: Perihelzeit, Knotenlänge, Knotendistanz des Perihels, Neigung und Perihelentfernung von der Sonne. Für geschlossene elliptische Bahnen kommen außerdem noch fallweise acht Bestimmungsgrößen in Betracht: Epoche, wahre Anomalie, mittlere Anomalie, siderische Umlaufszeit, mittlere tägliche Bewegung, halbe große Achse, numerische Exzentrizität und, wenn auch nur gelegentlich, der Exzentrizitätswinkel. Im Abschnitt „Planetensystem" sind diese sämtlichen Begriffe — der Unterschied Planet und Komet kommt hier nicht in Betracht — ausführlich erläutert.

(6) Kometensichtbarkeit. Ein Komet ist im allgemeinen am günstigsten in nicht allzugroßer Entfernung von seinem Perihel zu beobachten. In dieser Stellung erreicht er, gerade noch wahrnehmbar, Entfernungen bis zu fünf bis acht astronomischen Einheiten oder Sonnenweiten, das sind 750 bis 1200 Millionen Kilometer. Helle Kometen haben ihr Perihel im allgemeinen in kleineren Entfernungen. Für teleskopische Objekte drängen sich die Perihelentfernungen auf engere Beträge zusammen. Diese Erscheinung ist aber ebensowenig reell wie eine statistisch ermittelte Anhäufung der Perihelörter in den Gegenden um 100 und 280 Grad Ekliptiklänge. Beiderlei Anhäufungen sind durch die wechselvolle Perspektive von unserem mit Tages- und Jahreszeiten und mit äußerst veränderlicher lokaler Dämmerung ausgestatteten Erdplaneten aus bedingt. In dasselbe Kapitel gehört auch das scheinbare Überwiegen kleiner Bahnneigungen. Ob, wie vermutet wurde, eine Orientierung hinsichtlich des Milchstraßenäquators vorliegt, läßt sich nicht entscheiden.

(7) Reduzierungsgesetz. Nehmen wir zunächst an, daß ein Komet nicht aus sich heraus Licht entwickelt und messen wir alle Entfernungen in astronomischen Einheiten, dann ändert sich seine Gesamthelligkeit, je nachdem, wie weit er von der Erde und wie weit

er gleichzeitig von der Sonne steht. Es ist möglich, jederzeit seine Gesamthelligkeit derart umzurechnen, daß wir sie für den erdachten Fall kennen, daß der Komet sowohl von der Sonne als auch von der Erde die Entfernung 1 besitzt (Bild 181, unten). Diese Helligkeit

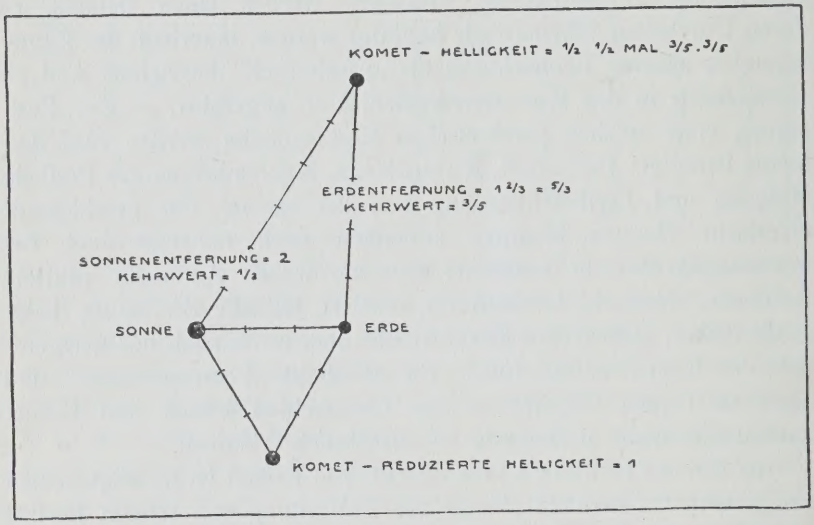


Bild 181. Gesamthelligkeit eines Kometen. Rechenbeispiel

nennen wir die „reduzierte". Ist nun der Komet, dessen reduzierte Helligkeit bekannt ist — wir setzen sie willkürlich gleich Eins wie in unserem Bild — zwei Einheiten von der Sonne entfernt, dann erhält er nur den 4. Teil des Sonnenlichts; ist er gleichzeitig $1^2/_3$ oder $^5/_3$ Einheiten von der Erde entfernt, dann erscheint er uns, da die Gesamthelligkeiten von hellen Körpern mit dem Quadrat der Entfernungen abnehmen, $^5/_3$ mal $^5/_3$ mal lichtschwächer. Seine Gesamthelligkeit beträgt demnach nur $^1/_2$ mal $^1/_2 \times {}^3/_5$ mal $^3/_5$, d. i. 0,09 der reduzierten Helligkeit. Nun hat aber die Erfahrung gezeigt, daß dieses einfache „quadratische Gesetz" nicht stimmt, sondern daß sich die Gesamthelligkeiten der Kometen in der Sonnennähe bedeutend stärker zeigen, daß sich eine größere Abnahme der Gesamthelligkeit mit wachsendem Sonnenabstand ergibt, so daß wir im Beispiel Bild 181 statt ½ . ½ setzen müssen: ½ . ½ . ½ . ½. Dies beweist aber, daß ein Komet nicht nur in reflektiertem Sonnenlicht leuchtet, sondern in Sonnennähe selbst Wärme und Licht entwickelt.

(8) Periodische Kometen. Nicht wiederkehrende Kometen sind, wenn wir geschlossene Bahnen nach aller Überlegung als die normalen ansehen, Ausnahmen. Trotzdem werden Objekte mit langer Umlaufszeit, mehreren Hunderten und Tausenden von Jahren, für den praktischen Bedarf als „nichtperiodische" katalogisiert und nur die Kometen mit relativ kurzer Umlaufszeit, unter hundert Jahren etwa, ausdrücklich als „periodische" bezeichnet. Insbesondere gibt man dann noch denen den Vorzug, bei denen die geschlossene Bahn nicht

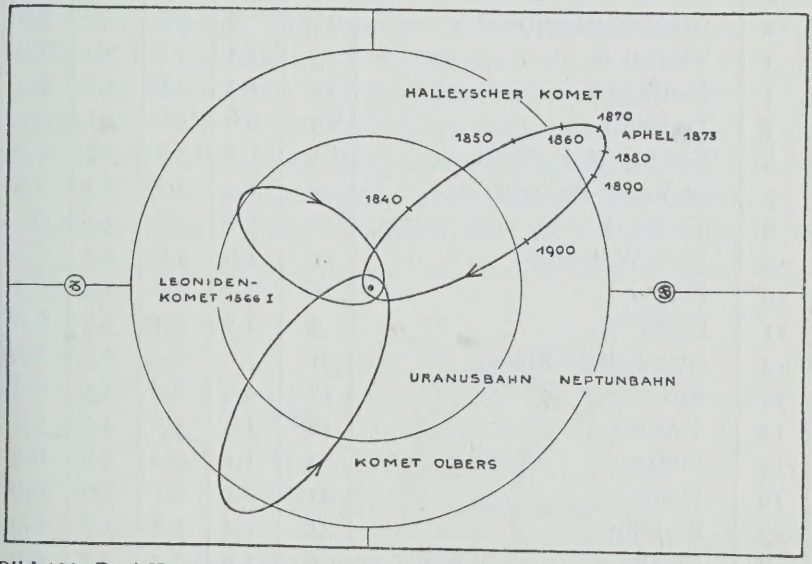


Bild 182. Drei Kometenbahnellipsen: Halleyscher Komet (1835—1910), Komet Olbers und Leonidenkomet

nur berechnet wurde, sondern bei denen sie auch bei mindestens einer tatsächlich beobachteten Wiederkehr geprüft werden konnte. Solche Kometen, die also in mindestens zwei Erscheinungen gesehen werden konnten, gibt es bis heute insgesamt 30. Wir bringen sie in einer besonderen Tabelle. — Die engste Bahn aller bekannten Kometen besitzt ein 1786 zuerst gesehener, lichtschwacher Komet, der bis 1931 bereits 45mal in Opposition gelangte und hiebei in 38 verschiedenen Erscheinungen auch tatsächlich beobachtet wurde. Es ist der Enckesche Komet. Die kleinste Entfernung dieses Kometen beträgt etwa $^1/_3$, die größte etwas mehr als 4 astronomische Einheiten, seine

Umlaufszeit $3^1/_3$ Jahre. Die Umlaufszeit wird von Erscheinung zu Erscheinung immer kürzer, wenn auch nur um wenige Stunden, doch konnte man die Ursache dieser Bahnschrumpfung bisher nicht zuverlässig ermitteln. Vielleicht ist ein störendes Mittel, möglicherweise die Materie des Zodiakallichtes, an der Erscheinung schuld.

Nr.	Kometenname	Bahnneigung in Graden	Periheldistanz in a. E.	Apheldistanz in a. E.	Halbe große Bahnachse	Umlauf in siderischen Jahren
1	Encke	13	0,3	4,1	2,2	3,3
2	Grigg-Skjellerup	18	0,9	4,9	2,9	5,0
3	Tempel 2	13	1,3	4,7	3,0	5,2
4	Neujmin 2	11	1,3	4,8	3,1	5,4
5	Brorsen 1	29	0,6	5,6	3,1	5,5
6	Tempel 3—L. Swift	5	1,2	5,2	3,2	5,7
7	de Vico—E. Swift	2	1,4	5,1	3,3	5,9
8	Tempel 1	10	1,8	4,8	3,3	6,0
9	Pons-Winnecke	19	1,0	5,6	3,3	6,0
10	Perrine 1	16	1,2	5,8	3,5	6,5
11	Kopff	9	1,7	5,3	3,5	6,6
12	Giacobini 2—Zinner	31	1,0	6,0	3,5	6,6
13	Biela	13	0,9	6,2	3,5	6,6
14	d'Arrest	18	1,4	5,7	3,5	6,6
15	Finlay	3	1,1	6,2	3,6	6,9
16	Holmes	21	2,1	5,1	3,6	6,9
17	Borrelly	31	1,4	5,8	3,6	6,9
18	Brooks 2	6	1,9	5,4	3,7	6,9
19	Faye	11	1,6	5,9	3,8	7,3
20	Schaumasse	15	1,2	6,8	4,0	8,0
21	Wolf 1	27	2,4	5,8	4,1	8,3
22	Tuttle 1	55	1,0	10,3	5,7	13,5
23	Schwaßmann-Wachmann	9	5,5	7,3	6,4	16,3
24	Neujmin 1	15	1,5	12,0	6,8	17,7
25	Pons-Forbes	29	0,7	18,0	9,4	28,7
26	Westphal	41	1,3	30,0	15,7	61,7
27	Brorsen 2—Metcalf	19	0,5	33,2	16,9	69,1
28	Pons-Brooks	74	0,8	33,7	17,3	71,6
29	Olbers	45	1,2	33,6	17,4	72,7
30	Halley	162	0,6	35,3	18,0	76,0

(9) Kometenfamilien. Die 21 periodischen Kometen mit Umlaufszeiten kleiner als 9 Jahre können der Kometentafel entnommen werden. Sie gruppieren sich hinsichtlich ihrer in astronomischen Einheiten gemessenen Apheldistanz ungefähr um die Zahl 5,2. Diese aber entspricht der Entfernung des Jupiter von der Sonne. Schon rein formal dürfte man also der Gesamtheit dieser 21 Kometen den Namen „Jupiterfamilie" beilegen, umsomehr, als auch ausgesprochene Gruppierungen von Aphelen um Saturn, um Uranus und um Neptun den Bestand weiterer solcher Kometenfamilien andeuten. Es ist naheliegend, einen derartigen störenden Einfluß Jupiters anzunehmen, daß ein Komet unserer Liste nicht nur gezwungen bleibt, um die Sonne als um einen Brennpunkt zu laufen, sondern auch um denjenigen Ort als zweiten Brennpunkt herumzukommen, wo Jupiter zur Zeit der Annäherung des Kometen an ihn stand. Ähnlich können die Kometen 22 und 24 unserer Tafel, vielleicht auch Komet 23 als zu Saturn gehörig angesehen werden. Bild 183 soll eine durch Uranus

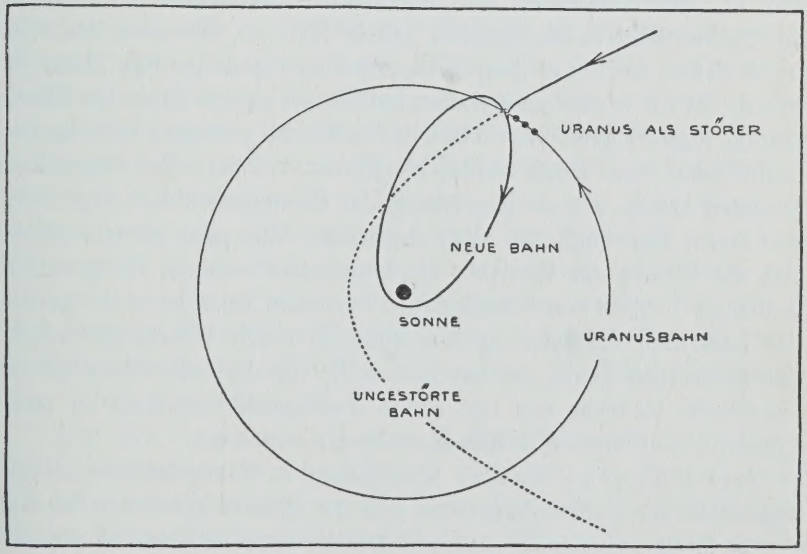


Bild 183. Umwandlung einer parabolischen in eine elliptische Bahn

verursachte Einverleibung eines zunächst parabolisch laufenden Kometen zu unserem engeren Sonnensystem veranschaulichen. Folgen wir den gezeichneten Linienzügen in verkehrter Richtung, so

kann das Bild auch die umgekehrte Verwandlung einer elliptischen in eine parabolische Bahn oder parabelnahe, d. h. sehr langgestreckte Ellipse zeigen. Zu einer möglichen Uranusfamilie eben dieses Ursprungs gehört der Komet 25 der Kometentafel, die fünf letzten dieser Zusammenstellung mögen einer Neptunfamilie angehören. Die genannten Familien ergänzen sich aus dem Register nur einmal gesehener und in der erwähnten Tafel der 30 Kometen nicht aufgenommener Objekte. So sind z. B. sicher außer den schon erwähnten 21 Jupiterkometen noch mindestens 15 Kometen ebenfalls Mitglieder der Jupiterfamilie.

(10) Bau und Masse der Kometen. Das Spektrum der Kometen ist zunächst, wenn man von den hellen Emissionslinien absieht, eine schwache Wiedergabe des Sonnenspektrums. Es wird also Sonnenlicht von der Kometenmaterie reflektiert, die aus einzelnen festen Teilchen bestehen muß, die wir der bloßen ersten Orientierung wegen, wenn wir uns zunächst nur auf den Kometenkopf beschränken, in ihrer Gesamtheit als „Steinhaufen" bezeichnen mögen. Die durchschnittliche Größe einzelner Stücke läßt sich kaum angeben, doch ist es sicher, daß sie in ihrer Gesamtheit eine ganz geringe Masse besitzen. Es ist, wie schon erwähnt, ein Komet einmal durch das Mondsystem Jupiters gewandert, ohne daß selbst die geringste Störung dort nachweisbar war. Doch werden die Kometen selbst, eben wegen ihrer geringen Masse, wie die Entstehung der Kometenfamilien zeigt, leicht von ihrem ursprünglichen Weg abgelenkt. Man kann annehmen, daß sich die Massen der Kometen etwa zwischen wenigen Kilogrammen und einer Trillion von Kilogrammen bewegen. Doch ist in Anbetracht der immensen Ausdehnung der Kometen deren Durchschnittsdichte außerordentlich klein. So hat man z. B. für die Schweifmaterie das spezifische Gewicht von nur einem Tausendtrilliontel bis zu einem Quadrilliontel Gramm je Kubikzentimeter errechnet.

(11) Physikalische Vorgänge. Kometenköpfe „fallen" regelrecht zur Sonne. Wenn sie sich ihr nähern, erwärmen sie sich, die in ihren Bausteinen eingeschlossenen Gase dehnen sich aus; die Materie wird zerpulvert und verdampft zum Teil. Die ausströmende Materie fällt zunächst, dem allgemeinen Gravitationsgesetz folgend, zur Sonne, dann aber kehren ihre Teilchen um und bilden so, den Kopf umgebend die Hülle oder Koma, um darauf in der Richtung von der Sonne weg als „Schweif" in den Raum zu eilen. Der Vorgang

ist ein sich fortwährend erneuernder, so daß das Schweifbild als ein vorübergehender Zustand eben entstandener, dann sich gleichsam verlierender Materie anzusehen ist. Als Repulsivkraft, die entgegen der Gravitation die Schweifmaterie von der Sonne abstößt, wird der Strahlungsdruck der Sonne angesehen. Versuche, je nach der berechneten Geschwindigkeit abgestoßener Partikel zahlenmäßig abgegrenzte Schweifgebiete festzulegen, um vielfach beobachtete Schweifteilungen zu erklären, sind noch nicht abgeschlossen. Es ist anzunehmen, daß auch rein elektrische Kräfte, etwa Ionisationswirkungen, durch ultraviolette Strahlung verursacht, eine Rolle in der Dynamik der Schweifmaterie spielen.

(12) Chemische Zusammensetzung. Außer dem eben erwähnten farbigen Grund des Spektrums, das mit seinen relativ spärlichen Fraunhoferschen Linien reflektiertes Sonnenlicht bedeutet, zeigen sich im Spektrum des Kometenkopfes helle, also Emissionslinien, die die Anwesenheit von Kohlenwasserstoffverbindungen, Zyan, Kohlenstoff, Natrium, Eisen, Nickel und Chrom verraten. Im allgemeinen zeigt die in Geißlerschen Röhren verdampfte Masse von Meteorsteinen ähnlichen Befund. Die auch in der Bunsenflamme gefundenen sogenannten Swanbanden sind zum Teil zu erkennen. Kopf und Schweif zeigen in spektraler Hinsicht Verschiedenheit, die wohl zum großen Teil in den gewaltigen Druckunterschieden innerhalb der einzelnen Kometenteile ihren Ursprung hat. Das Schweifspektrum zeigt Oxyde des Kohlenstoffs, bisweilen Stickstoff an. Freier Wasserstoff scheint nicht vorzukommen, denn es konnte seine wichtigste Linienserie bis jetzt noch nicht gefunden werden. Ein nach der allgemeinsten Statistik wohl bald fälliger, wirklich heller und bisnoch unbekannter Komet würde die Frage nach der Natur der Kometen ihrer Lösung näher bringen.

(13) Halleyscher Komet. Der Halleysche ist der letzte auf unserer Liste der periodischen Kometen. Er hat mit seiner 76 Jahre dauernden Reise um die Sonne die größte Umlaufszeit unter diesen Kometen. Die große Achse seiner Bahn mißt rund 5400 Millionen Kilometer oder 36 astronomische Einheiten, so daß deren Aphel jenseits der Neptunbahn liegt. Das Perihel ist der Sonne fast 60mal näher als das Aphel, infolgedessen bewegt sich der Komet in Sonnennähe 60mal rascher als jenseits der Neptunbahn. Die sekundliche Geschwindigkeit beträgt dort 1, in Sonnennähe 60 Kilometer relativ zur

Sonne. — In Bild 182 ist u. a. auch die Bahn des Halleyschen Kometen eingetragen. Die nachweisbare Geschichte des Halleyschen Kometen beginnt schon ein Vierteljahrtausend vor unserer Zeitrechnung und es sind vom Jahre 87 vor unserer Zeitrechnung bis heute

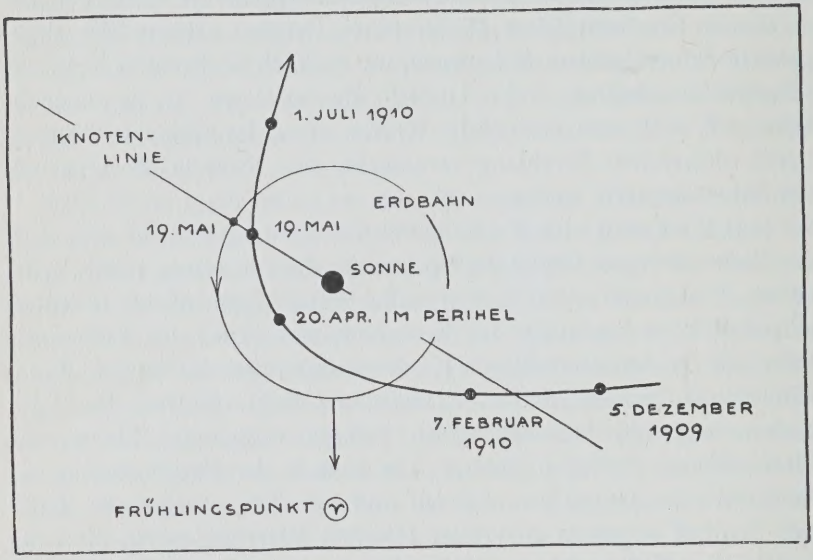


Bild 184. Halleyscher Komet in Sonnen- und Erdnähe 1910

nicht weniger als 27 Wiedererscheinungen beobachtet worden, und zwar in den Jahren:

-87, -12, 66, 141, 218, 295, 374, 451, 530,
607, 684, 760, 837, 912, 989, 1066, 1145, 1222,
1301, 1378, 1456, 1531, 1607, 1682, 1759, 1835, 1910.

Die nächste Erscheinung ist für 1986 zu erwarten. Erst seit der von 1682 war man sich des Zusammenhanges der Erscheinungen bewußt. Für 1759 geschah die erste Voraussage auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes. Der Fehler in der Bestimmung des Periheldurchganges betrug etwa 1 Monat, für 1835 und ebenso für 1910 rund 3 Tage. Im Jahre 1910 und schon im Herbst 1909 war der rückläufige Komet zuerst am Morgen-, dann am Abendhimmel zu sehen, im ganzen 21 Monate lang beobachtbar (Bild 184). Am 20. April stand er im Perihel, am Morgen des 19. Mai ging die Erde aller

Wahrscheinlichkeit nach durch den Schweif des Kometen oder durch einen Nebenschweif desselben hindurch, doch konnte trotz aller Aufmerksamkeit keinerlei besondere Erscheinung oder Wirkung festgestellt werden. Die Länge des Schweifes betrug in der größten Phase, im Perihel, 30 Millionen Kilometer. Während schon der Halleysche Komet am Himmel stand, im Januar 1910, zeigte sich in mächtiger Entfaltung und mit gebogenem und geteiltem Schweif der sogenannte Johannesburger Komet 1910 a, der nur kurze Zeit sichtbar war.

(14) Kometen 1843 und 1858. Der Komet 1843 I heißt in der Chronik allgemein der „große Komet" und man geht kaum fehl, wenn man die Länge seines Schweifes auf 250 Millionen Kilometer schätzt, was $1^2/_3$ astronomischen Einheiten entspricht. Der

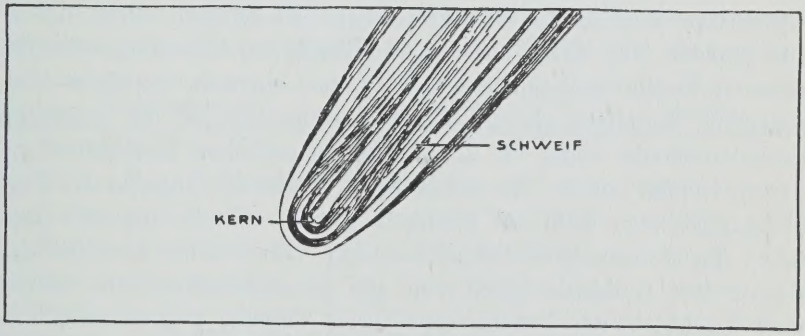


Bild 185. Hüllen um einen Kometenkopf herum. Schema

Komet leuchtete im Vorfrühling und Frühling des Jahres 1843 am westlichen Abendhimmel im Walfisch und Eridanus und war eine Zeitlang auch am hellen Tage ohne Fernrohr zu erkennen. Da er der Sonnenoberfläche bis auf 100 000 Kilometer nahe kam, also mit dem Kopf in den Bereich der Protuberanzenspitzen hineingeriet, ist die Annahme gestattet, daß die mächtige Entwicklung seines Schweifes dem in dieser Glut besonders energischen Verdampfen seinen Ursprung verdankt. Während der Schweif dieses Kometen fast linealgerade erschien, teilte sich der des sogenannten Donatischen Kometen 1858 in mehrere Teile. Die Hülle um den Kometenkopf wies, wie in Bild 185 angedeutet, Wellen auf.

(15) Septemberkomet 1882. Ihrer Herkunft nach sind

mit dem großen Kometen aus dem Jahre 1843 zweifellos verwandt der Komet 1880 I und der große Septemberkomet 1882 II. Alle drei sind rückläufig und stimmen in Perihellänge, Bahnneigung, Periheldistanz und Exzentrizität auffallend überein, wie die Zusammenstellung hier zeigt:

Bahnelemente	1843	1880	1882
Perihellänge in Graden	279	280	276
Neigung in Graden	36	35	38
Periheldistanz in astr. Einheiten	0,006	0,006	0,008
numerische Exzentrizität	1,00	1,00	1,00

Der Septemberkomet war am Morgenhimmel viele Wochen lang zu sehen, auch mit freiem Auge, und konnte im Fernrohr bis zum unmittelbaren Sonnenrand verfolgt werden. Es ist auch sicher, daß er 1¼ Stunden lang direkt vor der Sonnenscheibe vorbeiging, wie dies mitunter Merkur und seltener Venus tun. Lehrreich war dieser Vorübergang insoferne, als die ideale Durchsichtigkeit der gesamten Kometenmaterie, selbst in ihren dichtesten Teilen, zweifelsfrei erwiesen werden konnte. Es war während dieser 1¼ Stunden des Vorüberganges auch nicht der geringste Einfluß auf das normale Aussehen der Sonnenoberfläche nachweisbar. Im Perihel erreichte der Komet eine Geschwindigkeit von 480 Sekundenkilometern. Inwieweit die drei in der Tabelle angeführten Objekte gemeinsamen Ursprung besitzen, läßt sich nicht sagen. Man kann auch an eine Teilung denken, wie sie sich z. B. am Bielaschen Kometen sozusagen vor den Augen der Astronomen vollzog.

(16) Bielascher Komet. Dieser Komet, in unserer Kometentafel Nr. 13, hat eine Umlaufszeit von 6,6 Jahren und eine große Bahnachse von 7 astronomischen Einheiten. Während er 1832 noch keinerlei Anzeichen einer Katastrophe zeigte — 1838 konnte er nicht gesehen werden — erschien er 1845 zweigeteilt. Zwei kleine Kometen liefen in einer gegenseitigen Distanz von 300 000 Kilometern nebeneinander her. Bei der nächsten Wiederkehr, 1852, betrug der genannte Abstand bereits 2½ Millionen Kilometer und seither ist der Komet als solcher verschwunden. Ob die glänzenden Sternschnuppen aus der Andromeda, die Andromediden, die gewisse örtliche Beziehungen zur Bahnlage des Bielaschen Kometen auf-

weisen und deshalb auch Bieliden heißen, tatsächlich Auflösungsprodukte des Kometen sind, ist annehmbar sicher erwiesen. Außerdem ist ein sicherer Zusammenhang mit Sternschnuppen bei anderen Kometen erwiesen, wie z. B. beim Kometen Pons-Winnecke (Tafelnummer 9), beim Halleyschen Kometen und einigen anderen, die nicht auf unserer Kometenliste stehen, so z. B. beim Kometen 1866 I, der mit den Leoniden oder Löwensternschnuppen zusammenhängt, die sich jeweils im November zeigen. Neuesten Datums, am 9. Oktober 1933, lieferte der Komet Giacobini-Zinner durch seine Zerfallsprodukte das Schauspiel eines ausgiebigen Meteorregens.

(17) Leonidenkomet. Seine rückläufige Bahn ist in unser Bild 182 mit eingetragen. Sie erstreckt sich bis knapp über die Uranusbahn. Unabhängig voneinander wurden die Bahnen dieses Kometen 1866 I und der 1766, 1799, 1833 und 1866 in etwa $33^1/_3$jähriger Periode wiederkehrenden, ebenfalls rückläufigen Löwenmeteore berechnet. Das Rechenergebnis ist in der Tabelle hier niedergelegt.

Bahnelemente	Komet	Leoniden
Perihellänge in Graden	60	56
Knotenlänge in Graden	231 ½	231 ½
Neigung in Graden	17 ¼	17 ¾
Periheldistanz in a. E.	0,98	0,99
Numer. Exzentrizität	0,91	0,90
Umlaufszeit in Jahren	33,2	33,3

Es ist ausgeschlossen, hier in der guten Übereinstimmung aller sechs Größenpaare einen Zufall zu erblicken. Die Bahnen der Kometen und der Leoniden sind identisch. Es gibt uns diese Feststellung einen Hinweis, in welcher Richtung die Untersuchungen gehen können, die den kosmischen Ursprung der Sternschnuppenschwärme zu ermitteln haben.

ACHTER ABSCHNITT
METEORE

Sternschnuppen und Feuerkugeln / Wesen der Meteore / Anzahl der Meteore / Jährliche Periode / Tägliche Periode / Feuerkugeln / Meteormeldungen / Bahnermittlung / Geschwindigkeiten und Ursprung / Meteorite / Meteorkrater / Meteorschwärme / Perseiden / Kometarische Schwärme

(1) Sternschnuppen und Feuerkugeln. Wir benennen die gewöhnlichen Sternschnuppen ebenso wie die imposanten blendend hellen sogenannten Feuerkugeln oder Boliden mit dem gemeinsamen Namen „Meteore". — Man hat Sternschnuppen oft als fallende Sterne bezeichnet und rein äußerlich wäre gegen ein derartiges Bild nichts besonderes einzuwenden, wenn man bloß den Eindruck wiedergeben wollte, den ein naiver Beobachter von dieser Art der Naturerscheinung hat. Wir hätten so im ersten, sphärischen Teil unseres Buches eine „Astronomie der Sternschnuppen" einschalten können, als ob diese glänzenden Objekte ebenso am ruhenden Himmel liefen wie Sterne, Wandelsterne oder Sonne und Mond. Freilich sind es nur Erscheinungen weniger Augenblicke, um die es sich hier handelt und mit Sternen haben sie zunächst ganz und gar nichts zu tun. — Sternschnuppen erscheinen entweder einzeln, ohne daß ein sichtbarer Zusammenhang mit anderen besteht, oder zu gewissen Zeiten, zum Teil streng periodisch in Schwärmen wie die Leoniden. Feuerkugeln sind fast ausnahmslos Einzelgänger, doch sind auch bei ihnen schon bevorzugte Bahnen, also regelrechte Ströme, verzeichnet.

(2) Wesen der Meteore. Die kosmische Erklärung dieser Meteore, der kleinen wie der großen, ist folgende: Wir müssen uns das Planetensystem, so insbesondere auch die Gegend der Erdbahn, mit unendlich vielen kleinen Körperchen, von Staubkorn- bis Kopfgröße, auch noch größeren, durchsetzt vorstellen, die im großen und ganzen wahllos dahineilen und, nur dem Gesetz der Massenanziehung unterworfen, um die Sonne wandern. Ob und inwieweit diese Partikel mit der Zodiakallichtmasse etwa als deren Bestandteile zu-

sammenhängen, kann gegenwärtig nicht gesagt werden. Da mitunter größere Stücke bis zur Erde niedergehen, kennt man deren Zusammensetzung. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß auch sie trotz ihrer außerirdischen Herkunft keinen grundsätzlich anderen chemischen Aufbau besitzen als irdische Massen. Geraten diese Körper — wir nennen sie Meteorite — auf ihrem Weg in die Atmosphäre der Erde, dann pressen sie vor sich in ihrer Bahn die irdische Luft zusammen. Diese wirkt in gepreßtem Zustand als fester Widerstand. Durch diese Pressung entsteht nun hohe Wärme, die Meteoriten werden glühend, leuchten als „Meteore" auf und fliegen, häufig eine Feuerspur hinter sich lassend, dahin. Man spricht vom Punkt des

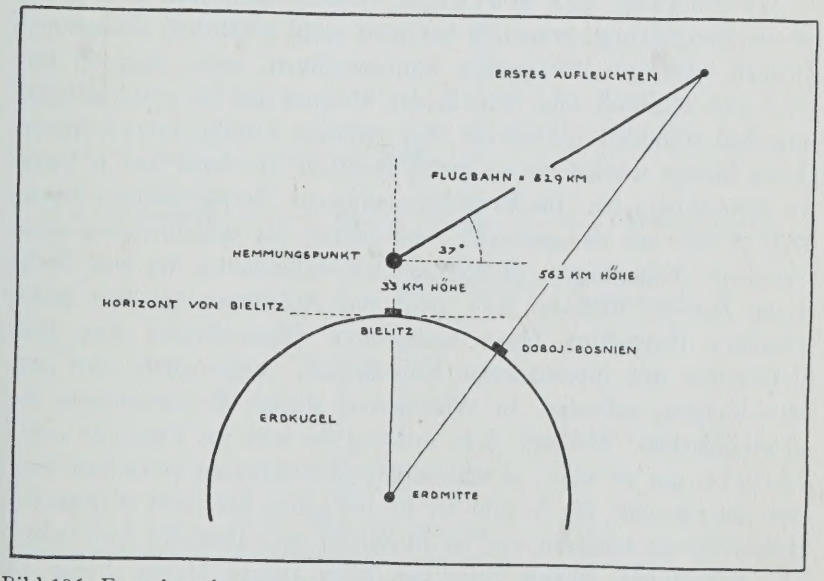


Bild 186. Feuerkugel vom 13. Januar 1917. Schematische Festlegung ihrer Flugbahn

Aufleuchtens als vom Beginn der sichtbaren Bahn und vom Punkt des Erlöschens als dem tatsächlichen Endpunkt der Bahn, der auch der Hemmungspunkt genannt wird. Kleine Stücke verbrennen offenbar in der Luft zu Asche, die sich in der Höhe verliert. Der kosmische Lauf großer Stücke, also der Feuerkugeln, wird durch den Luftwiderstand fast bis zum Stillstand gebremst und dadurch die aus dem Weltraum mitgebrachte Geschwindigkeit vollständig aufgezehrt. Der

Klumpen hat relativ zur Erdoberfläche für einen Moment die Geschwindigkeit Null und stürzt, jetzt nur der Anziehung der Erde folgend, zu Boden. Mitunter explodiert der Meteorkörper im Hemmungspunkt in viele Teile und unzählige Splitter. — Die Höhen, in denen die Meteore aufleuchten, betragen 100 bis 150 Kilometer, doch sind Feuerkugeln schon in mehr als 500 Kilometern Höhe sichtbar geworden. Für ein Meteor, dessen Flugschema Bild 186 zeigt, wurden sogar 563 Kilometer errechnet. — Die Bahnendpunkte gehören den Schichten zwischen 50 und 100 Kilometern an. Die Bahnen selbst sind bei Sternschnuppen im Durchschnitt 60, bei Feuerkugeln 300 Kilometer lang, aber auch viel länger.

(3) Anzahl der Meteore. Feuerkugeln sind eine relativ seltene Erscheinung, immerhin hat man wohl alljährlich Gelegenheit, wirklich blendende Exemplare wahrzunehmen, wenn man oft und gerne zum Himmel sieht. Schwächere Meteore sind bei systematischer Ausschau stündlich in kleinerer oder größerer Anzahl wahrzunehmen. Deren Menge wächst um so mehr, je besser das Auge und je klarer die Atmosphäre ist. Im Fernrohr sieht man Sternschnuppen selten, doch ist dies nur der geringen Ausdehnung des Gesichtsfeldes zuzuschreiben. Feuerkugeln photographisch festzuhalten, ist eine Sache reinen Zufalls. Bildtafel XIV zeigt eine Aufnahme, die nach mehrstündiger Exposition eines bestimmten Himmelsteiles eine helle Meteorspur mit interessanten Einzelheiten, insbesondere drei Anschwellungen, aufweist. In Wirklichkeit wächst die Gesamtzahl der „teleskopischen" Meteore, d. h. solcher, die man im Fernrohr sehen könnte, um so mehr, je schwächere Meteorspuren erreichbar sind. Man hat versucht, die Anzahl der für die ganze Erde sich ereignenden Meteorfälle zu schätzen, und ist zu Zahlen weit über eine Milliarde je Tag gekommen. Wenn auch nur jedes 100ste Meteor heller als 6. Größe ist, darf man annehmen, daß täglich 10 Millionen „helle" Sternschnuppen niedergehen. Da die Erdoberfläche rund 500 Millionen Quadratkilometer beträgt, so würde auf 50 Quadratkilometer täglich ein helles Meteor kommen. Übrigens weist die Häufigkeit der Meteore, von Feuerkugeln und ausgesprochenen periodischen Meteorschwärmen wie die im August abgesehen, deutlich zweierlei Perioden auf, eine jährliche und eine tägliche. Es gibt im Herbst mehr Sternschnuppen als im Frühling und die stündliche Häufigkeit erreicht jeweils am Morgen ihren Höchstbetrag.

(4) Jährliche Periode. In Bild 187 sind die Richtungen zu Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winterpunkt bezeichnet und die Erdbahn als Kreis um die Sonne gelegt. Die Erde strebt in jedem gegebenen Augenblick immer einem bestimmten Punkt der Ekliptik zu, dem Apex. Im ⟨Frühling⟩ liegt dieser Apex der Erdbewegung im Winterpunkt, im ⟨Sommer⟩ im Frühlingspunkt usw. Es ist die Ekliptiklänge des Apex der Ekliptiklänge der Erde immer um

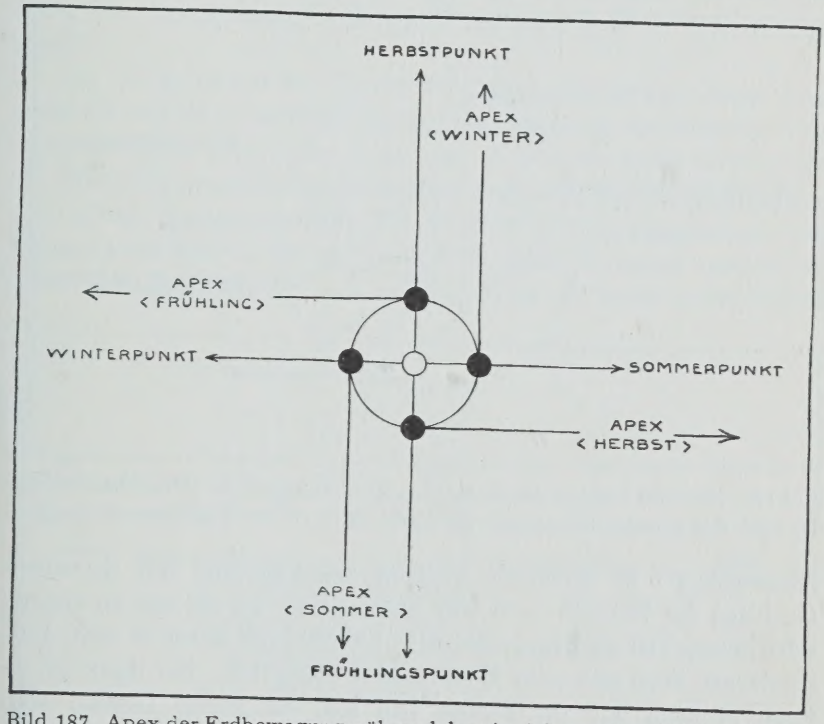


Bild 187. Apex der Erdbewegung während der vier Jahreszeiten. Weiße Scheibe Sonne, schwarze Scheibe Erde

90 Grad voraus. Bei erdzentrischer Betrachtung hat demnach der Apex eine um 90 Grad geringere Ekliptiklänge als die Sonne. — Wir nehmen nun an, daß die Meteoriten in der Umgebung der Erdbahn nicht nur gleichmäßig verteilt sind, sondern auch relativ zum Netz der Ekliptik durchschnittlich dieselben Geschwindigkeiten haben. Da im großen und ganzen alle Richtungen der Geschwindigkeiten gleichmäßig vertreten sein werden, bleibt der Effekt derselbe, wenn wir der

Einfachheit wegen in unseren Skizzen die Meteorite als ruhend annehmen. Dann nimmt die mit einer Geschwindigkeit von 30 Sekundenkilometern eilende Erde in der Richtung zum Apex mehr Meteorite in ihre Atmosphäre auf als in der entgegengesetzten Richtung, im Antiapex, d. i. in dem Punkt der Himmelskugel, der dem Apex genau gegenüberliegt. Jedenfalls spielt der Apex in der Meteorstatistik eine wichtige Rolle. — In Bild 188 erkennen wir dieselbe

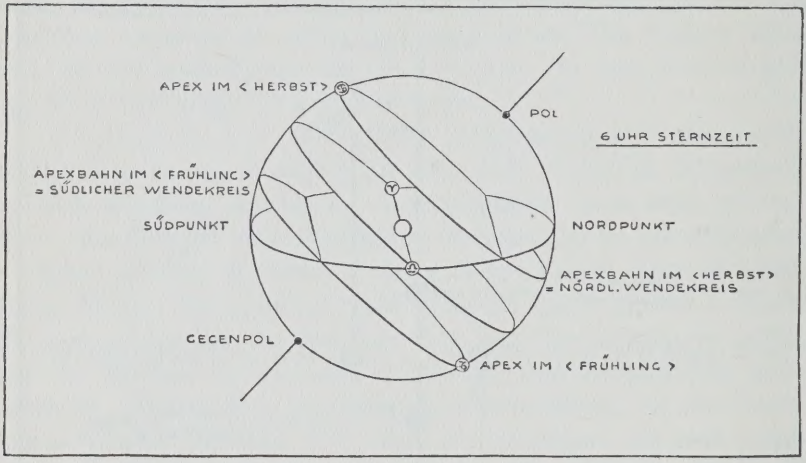


Bild 188. Jährliche Periode der Sternschnuppenhäufigkeit. Im Herbst beschreibt der Apex den sommerlichen, im Frühling den winterlichen Tagbogen der Sonne.

Himmelskugel in derselben Stellung des Pols und mit derselben Hochlage der Ekliptik — 6 Uhr Sternzeit — wie sie uns im ersten, sphärischen Teil oft begegnete. Der Ekliptikkreis selbst ist nicht eingezeichnet, doch sind seine Hauptpunkte angegeben. Der Apex ist — wenn es nach wie vor erlaubt sein soll, für unsere Gegend von „rechts" und „links" als eindeutigen Bestimmungen zu reden — nach Bild 187 in der Ekliptik stets 90 Grad rechts von der Sonne zu suchen. Auf Grund dieser Regel ergibt sich nun für die Himmelsstellung 6 Uhr Sternzeit folgendes: Im ‹Frühling› muß die im Frühlingspunkt weilende Sonne hinten im Westpunkt stehen, der meteorreiche Apex infolgedessen unten im Winterpunkt, so daß er im Verlauf von 24 Stunden den südlichen Wendekreis entlang laufen muß, also nur kurze Zeit über dem Horizont ist. Im Frühling sind also relativ wenig Sternschnuppen zu gewärtigen. Im ‹Herbst› muß die den Herbst-

punkt einnehmende Sonne um 6 Uhr Sternzeit im Ostpunkt sein — in unserer Skizze vorne — der meteorreiche Apex nach der genannten Regel 90 Grad rechts in der Ekliptik, also im Sommerpunkt, so daß er 23½ Grad nördliche Deklination besitzt, infolgedessen innerhalb 24 Stunden einen relativ langen Weg über den Horizont zurücklegt, so daß es im Herbst recht viele Sternschnuppen gibt. Wir finden also — von Schwärmen abgesehen — die jährliche Schwankung der Sternschnuppenhäufigkeit als geographische Erscheinung erklärt.

(5) Tägliche Periode. Während des hellen Tages sind wohl hie und da große Feuerkugelerscheinungen zu verzeichnen. Von Sternschnuppen kann keine Rede sein. In der Nachtzeit verteilt sich die Sternschnuppenhäufigkeit deutlich zugunsten der Morgenstunden. Denn von Sonnenuntergang bis Mitternacht ist der meteorreiche Apex, in der Ekliptik um 90 Grad rechts gegen die Sonne verschoben, unter dem Horizont. Er geht erst auf, wenn die Sonne unten kulmi-

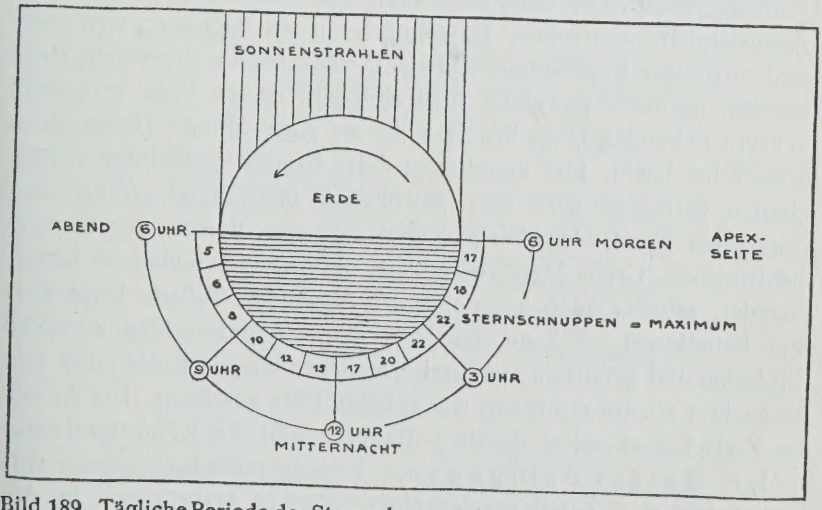


Bild 189. Tägliche Periode der Sternschnuppenhäufigkeit. Maximum am Morgen

niert, also um Mitternacht, und wirkt sich daher als meteorisches Zentrum erst in den Morgenstunden aus, bis diese durch die Tageshelle jede Meteorbeobachtung unmöglich machen. Bild 189 veranschaulicht diese tägliche Periode durch eine kleine Statistik. Es ist in die den einzelnen Stunden entsprechenden Kreisausschnitte die be-

treffende Anzahl der beobachteten Meteore eingetragen. Die Zahlen werden immer größer bis 3 Uhr früh. Die nachher erfolgende Abnahme ist der beginnenden Tageshelle zuzuschreiben. Das Bild ist stark schematisiert. Der Nordpol ist so hingestellt, als ob die Erdachse auf der Erdbahn senkrecht stünde.

(6) Feuerkugeln. Die Verwechslung von Feuerkugeln mit Kometen ist bei ungeschulten Menschen gewiß verzeihlich. Denn erstens sind beide Dinge selten und dann zeigen alte Abbildungen mitunter eine große äußere Ähnlichkeit beider Erscheinungen. Zwei Unterscheidungsmerkmale können sofort belehren. Kometen sind ruhige, bei aller Helligkeit mehr mattleuchtende, vor allem dauernde Erscheinungen. Sie gehen auf und unter und sind Wochen hindurch sichtbar. Die Feuerkugeln sind blendend hell, sind Angelegenheiten des Augenblicks und verschwinden für den Beobachter nach wenigen Sekunden. — Die Feuerkugeln fallen oder sie fliegen horizontal oder steigen mitunter auch wie Raketen empor und bevorzugen keine Himmelsgegend. Die Bahnlänge kann sich über die ganze sichtbare Himmelssphäre erstrecken. Gewöhnlich eilt ein kugeliger, birn- oder tropfenförmiger Kopf voraus und zieht, wenn auch nicht immer, einen feurigen, mitunter gewellten Schweif nach, dessen Spur manchmal mehrere Sekunden lang, bis zu mehr als einer Minute Dauer, noch beobachtbar bleibt. Der Durchmesser des Kopfes kann einige Bogenminuten betragen, wird aber gewöhnlich überschätzt. Außer ausgesprochen blendendem Weiß zeigen sich alle Farben des Sonnenspektrums. — Große Meteore bestehen mitunter aus mehreren, hintereinander, seltener auch nebeneinander fliegenden Teilen. Explodiert eine Feuerkugel, so kann man aus dem Zeitunterschied zwischen Explosion und gehörtem Geräusch gegebenenfalls die Entfernung vom Beobachter ebenso ermitteln, wie es beim Blitz geschieht. Die Anzahl der Zwischensekunden, durch 3 dividiert, gibt die Kilometerdistanz.

(7) Meteormeldungen. Feuerkugelbeobachtungen sind immer nur eine Zufallsangelegenheit. Gerade deshalb und in Anbetracht der Wichtigkeit all dieser Beobachtungen für die Zwecke der Bahnbestimmung sollte jeder, der das Glück hat, eine derartige Erscheinung wahrzunehmen, unmittelbar nach erfolgter Beobachtung an eine Sternwarte oder an ein sonstiges astronomisches Institut einen Bericht einsenden. Nach dem Muster einer großen amerikanischen Meteorgesellschaft geben wir hier 21 Fragen und Aufforde-

rungen, die man gegebenenfalls nachschlagen und nach dem einzig möglichen Grundsatz „so gut es geht" in der Meldung beherzigen sollte. Die 21 Punkte lauten, zum Teil in Schlagworten: 1. Name und Adresse des Beobachters. 2. Standort des Beobachters (Stadt, Stadtteil, Straße, Land). 3. Tag, Stunde, Minute der Beobachtung. 4. In welcher Richtung (Süd, Südsüdwest, Südwest, Westsüdwest usw.) erschien die Feuerkugel, oder: in welcher wurde sie zuerst gesehen? 5. In welcher Richtung verschwand die Erscheinung, oder: in welcher wurde sie im letzten Augenblick noch gesehen? 6. In welcher Höhe erschien sie? Mit Hilfe eines papierenen Winkelmessers können Grade angegeben werden. 7. In welcher Höhe erfolgte das Verschwinden? Nach Tunlichkeit ebenfalls Grade angeben. 8. Ging die Feuerkugel direkt über den Beobachter hinweg, d. h. durch dessen Zenit? 9. Wenn nicht, auf welcher Seite vom Zenit fuhr die Feuerkugel dahin und wie weit vom Zenit? Angabe nach Tunlichkeit in Graden. 10. Schien es, als ob die Feuerkugel den Horizont erreichte?

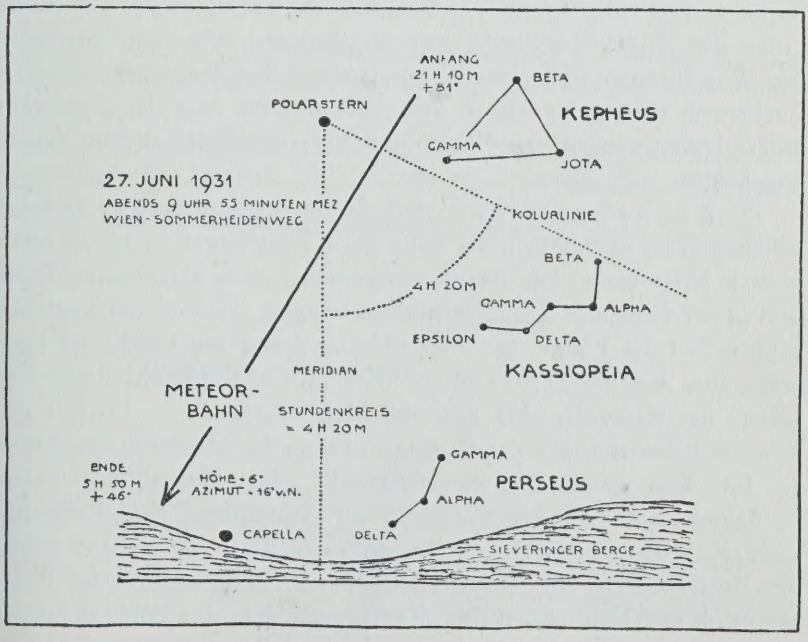


Bild 190. Musterbeispiel für die Festlegung einer beobachteten Meteorbahn sowohl hinsichtlich der Sterne, als auch in bezug auf den Horizont. Feuerkugel vom 27. Juni 1931. Wien-Sommerheidenweg

11. Möglichst genaue Angabe der Meteorbahn nach Flugrichtung und Lage zum Horizont — möglichst durch eine Skizze mit Horizont, Bahn und Richtungspfeil. 12. Ist Beobachter „unter den Sternen zu Haus", so Beschreibung der Bahn nach Sternbildern und Sternen. Skizze sehr erwünscht. Bild 190 zeigt ein Muster einer solchen in eine Sternkarte eingezeichneten Bahn, deren Beziehung zum Horizont gleichzeitig angegeben ist. 13. Schien die Feuerkugel zu explodieren? 14. Zeitdauer des Fluges in Sekunden. 15. Beschreibung des Meteorschweifes, falls ein solcher vorhanden war. 16. Wie lange dauerte die Sichtbarkeit der Schweifspur in Sekunden? 17. Wurde irgend ein Geräusch wahrgenommen? Wie lange dauerte es nach der unmittelbaren Beobachtung der Feuerkugel bis zum Zeitpunkt der Wahrnehmung dieses Geräusches? Wurde eine tatsächliche Explosion gehört? Wie lange dauerte es nach der unmittelbaren Beobachtung der Feuerkugel bis zu dem Zeitpunkt, in dem die Explosion direkt gehört wurde? 18. Farbe und Form der Feuerkugel, auch des Schweifes. Farbenveränderungen. 19. Welches war die scheinbare Durchmessergröße der Kugel, verglichen mit Mondscheibe, Planeten, Sternen? 20. War für den Fall einer Explosion vor derselben mehr als ein leuchtender Körper zu sehen? Wie viele konnten nach der Explosion unterschieden werden? 21. Namen und Adresse anderer, die die Feuerkugel sahen.

(8) Bahnermittlung. Auf Grund der einlangenden Meteormeldungen ist es möglich, die Bahn einer Feuerkugel im Raum rechnerisch festzulegen. Die Bestimmungsstücke einer berechneten Bahn sind in der folgenden Liste zusammengetragen, die Bild 191 begleiten soll: 1. Zeit des Falles. 2. Geographische Breite und Länge des Erdortes, über dem das Meteor aufleuchtete. 3. Geographische Breite und Länge des Erdortes, über dem das Meteor erlosch. 4. Im Lot gemessene Kilometerhöhe des Punktes, in dem das Meteor aufleuchtete. 5. Im Lot gemessene Kilometerhöhe des Hemmungspunktes. 6. Azimut, aus dem das Meteor in der Atmosphäre zum Endpunkt flog, relativ zur Landkarte. 7. Neigungswinkel der Meteorbahn gegen die Horizontebene des Bahnendpunktes. 8. Sonnenzentrische Rektaszension und Deklination des „Radianten", d. h. des Punktes an der Himmelskugel, auf den die in der Atmosphäre verlaufende Meteorbahn rückwärts verlängert hinweist. 9. Kilometerlänge des leuchtenden Bahnstückes. 10. Dauer des Fluges in Sekunden. 11. Erd-

zentrische Geschwindigkeit des Meteors innerhalb der Atmosphäre. 12. Sonnenzentrische Geschwindigkeit des Meteors innerhalb der Atmosphäre. Beide in Kilometern je Sekunde. Die 12 Daten geben

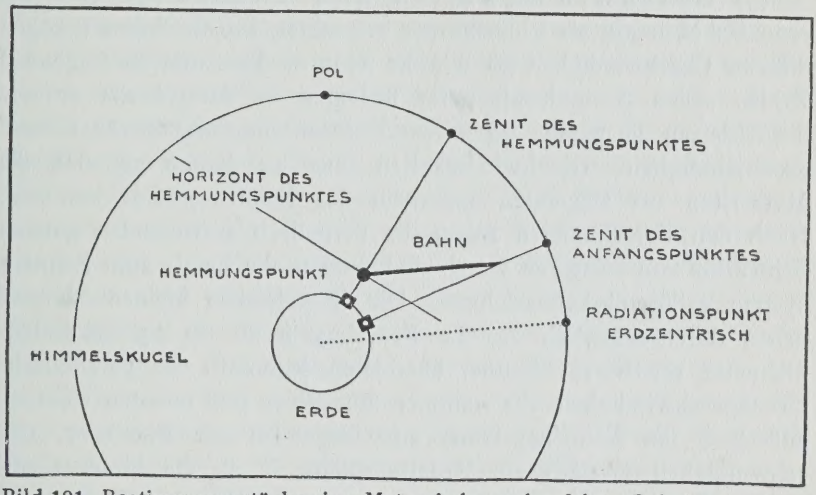


Bild 191. Bestimmungsstücke einer Meteorbahn nach erfolgter Bahnbestimmung

eine mathematische Beschreibung der Erscheinung, zu der sich die physikalische gesellen muß, wenn eine vollständige Monographie

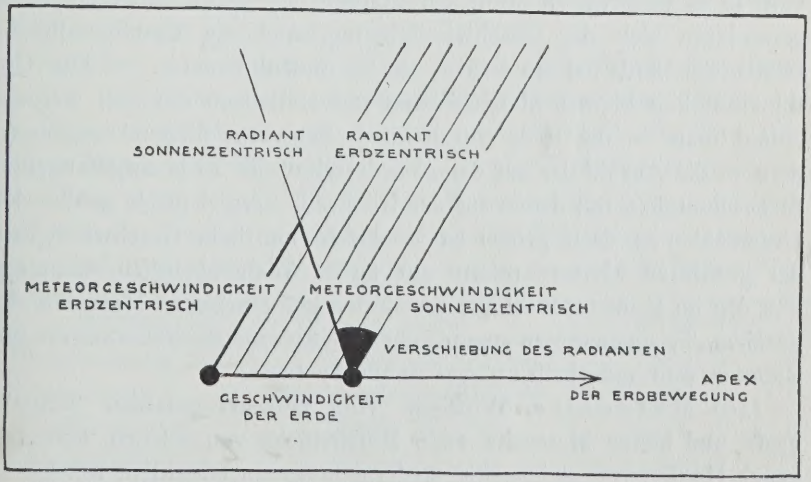


Bild 192. Verschiebung eines Meteorradianten infolge der Erdbewegung

der betreffenden Feuerkugel gegeben werden soll. — Wie die sonnenzentrische mit der erdzentrischen Geschwindigkeit der Meteore zusammenhängt, zeigt Bild 192.

(9) Geschwindigkeiten und Ursprung. Hat ein erdnaher Meteorit, als Einzelkörper betrachtet, auf die Sonne bezogen dieselbe Geschwindigkeit 30, wie die Erde — diese und die folgenden Zahlen sollen Sekundenkilometer bedeuten — dann kreist er wie die Erde um die Sonne. 42 bedeutet schon eine parabolische Grenzgeschwindigkeit. Geschwindigkeiten über 42 deuten an, daß die Meteoriten aus Gegenden außerhalb des Sonnensystems kommen. Nach den Berechnungen haben die periodisch auftretenden ganzen Schwärme von Meteoren Geschwindigkeiten, die sie als zum Sonnensystem gehörend kennzeichnen. Die sporadischen kleinen Meteore haben durchschnittlich 72, die Feuerkugeln 66 bis 75 Sekundenkilometer relativ zur Sonne, überbieten jedenfalls die parabolische Grenzgeschwindigkeit. Sie stammen aus fernen und fernsten Räumen außerhalb des Sonnensystems, aus Gegenden der Fixsterne. Geschwindigkeiten relativ zur Erdatmosphäre, in die die Meteore einschlagen, sind je nach der Richtung, aus der die Körper kommen, verschieden. Holt z. B. ein mit knapp 42 Kilometern je Sekunde laufender Meteorit die Erde ein, dann ergibt sich ein Geschwindigkeitsunterschied, d. h. eine Geschwindigkeit relativ zur Erdatmosphäre, von $42 - 30 = 12$. Kommt ein Meteorit der Erde entgegen, dann summieren sich die Geschwindigkeiten, und die Geschwindigkeit relativ zur Erde ist $42 + 30 = 72$ Sekundenkilometer. — Die Geschwindigkeit kleiner Meteore kann nur statistisch ermittelt werden, indem man — die Erde durch einen Schwarm fliegend angenommen — die Anzahl der auf der „Vorderseite" der Erde aufgefangenen Sternschnuppen mit denen auf der Rückseite vergleicht. Je größer der Unterschied ist, desto größer ist die durchschnittliche Geschwindigkeit der gezählten Meteore relativ zur Erde. Wahrscheinlich stammen, von den im Kometenabschnitt erwähnten kometarischen Meteoren abgesehen, die sogenannten sporadischen ebenso wie die Feuerkugeln aus Räumen weit außerhalb unseres Sonnensystems.

(10) Meteorite. Wirklich „vom Himmel gefallene Steine", große und kleine Meteorite, auch Bruchstücke von solchen, mitunter ganze Haufen von gleichzeitig niedergegangenen Objekten, werden in Museen aufbewahrt. Die fünf größten Meteoritensammlungen ent-

halten: das Fieldmuseum in Chicago, das Britische Museum in London, das Naturhistorische Museum in Wien, das Amerikanische Naturhistorische Museum in New York und das Nationalmuseum der Vereinigten Staaten in Washington. Jede dieser Sammlungen birgt einige hundert, bis zu mehr als 700 Stücke verschiedener Fälle. — Die Meteorite unterscheiden sich hinsichtlich ihrer mineralischen Zusammensetzung insofern von irdischen Substanzen, als sich z. B. die Sauerstoffarmut ihres außerirdischen Ursprungsortes in mineralischen Kombinationen äußert, die in den Erdschichten ganz unmöglich sind. Hinsichtlich ihrer Struktur zeigen sie auch Sonderheiten, zunächst ein auffallend regelmäßiges Kristallgefüge der Metalle, das bei präparierten Schliffen von Meteoriten als Widmannstättensches Figurennetz bezeichnet wird (Bildtafel XIV). Dann finden sich durchgehende Vermengungen spezifisch verschieden schwerer Substanzen im Gegensatz zu irdischen Gemengen, bei denen sich eine Sonderung nach dem spezifischen Gewicht zu erkennen gibt. — Sonst wird gerade der chemische Befund an Meteorsteinen immer und mit Recht als Beweis für die Einheitlichkeit der gesamten kosmischen Materie angeführt. — Man teilt die Meteorite in „Eisenmeteorite", die vor allem Eisen und Nickel enthalten, und in „Steinmeteorite", die vor allem Silikate aufweisen, endlich glasige „Tektite". Die größten Museumstücke, besonders Eisenmeteorite, erreichen Gewichte bis über 30 000 Kilogramm. Im Erdboden vergrabene, nur zum Teil geförderte Stücke haben wohl noch bedeutend größeres Gewicht.

(11) Meteorkrater. Wälle, die als Meteorkrater bezeichnet werden, sind nicht immer als solche streng nachweisbar. Wenn wir uns darauf beschränken, von den etwa ein Dutzend zählenden derartigen Kratern und Kratergruppen nur die anzuführen, in deren unmittelbarer oder weiterer Nachbarschaft meteoritische Massen lagern und gefunden wurden, so sind nur folgende fünf Krater einwandfrei als durch Einschlag von Meteoren verursacht anzusehen (Bildtafel XV):

Meteorkrater	Land	Durchmesser
Arizonakrater	Vereinigte Staaten	1300 m
Texaskrater	Vereinigte Staaten	180 „
Henburykrater	Mittelaustralien	120 „
Wabarkrater	Arabien	109 „
Campo del Cielokrater	Argentinien	61 „

Der australische und argentinische Krater bilden mit benachbarten ganze Gruppen. Die Durchmesserangabe bezieht sich in diesen beiden Fällen auf den größten Krater innerhalb der Gruppe. Die Weite des Walles muß keinesfalls der Größe einschlagender Massen entsprechen. Wahrscheinlich haben die enormen Temperaturen, die sich aus der Umwandlung der großen Bewegungsenergien in Wärme ergaben, nicht nur die meteoritischen Teile, sondern vielmehr auch die irdischen Gesteinsmassen zur Explosion gebracht.

(12) Meteorschwärme. In den Nächten um den 10. August strahlen aus der Gegend des Perseus zahlreiche Sternschnuppen aus, die Perseiden, in ihrer Gesamtheit auch Laurentiusstrom genannt. In Bild 193 sind die von einer einzigen Station aus in einer Nacht, vom

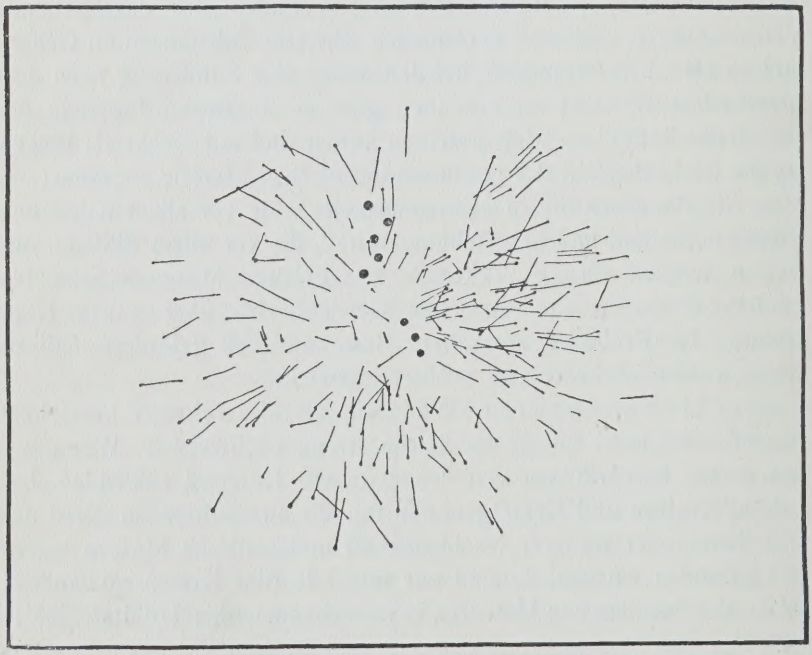


Bild 193. Perseiden in der Nacht vom 11. auf den 12. August 1907. Kassiopeia und drei Perseussterne. 225 beobachtete Meteore

11. auf den 12. August 1907, beobachteten Meteore eingetragen. Gezählt wurden insgesamt 225. Um das Bild nicht zu überlasten, sind nur Kassiopeia und drei Perseussterne eingezeichnet. Man erkennt deutlich eine Radiationsgegend im Perseus, in Bild 194 durch ein

Dreieck bezeichnet. Hier, nahe beim Stern Gamma liegt der Fluchtpunkt der im Grunde genommen parallel gegen uns gerichteten Meteorbahnen, die wieder durch die Einfahrt der Erde in den als ruhend an-

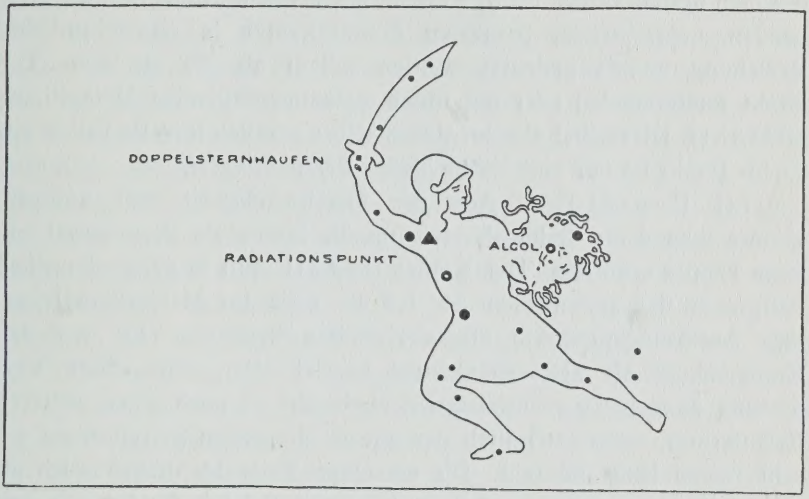


Bild 194. Radiationspunkt (schwarzes Dreieck) der Perseiden. Algol im Medusenhaupt ein Bedeckungsveränderlicher

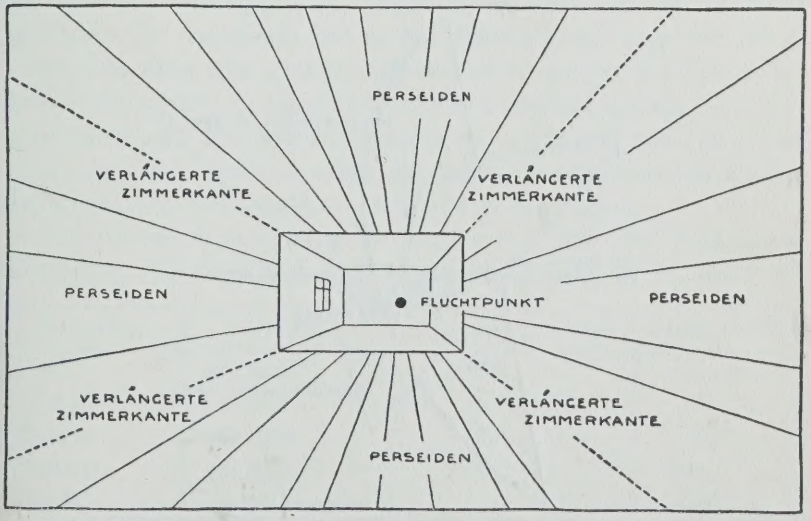


Bild 195. Radiation der Perseiden als perspektivische Erscheinung. Ein Gedankenexperiment

genommenen Schwarm erklärt werden können. Könnten wir aus einem stets zum Radiationspunkt gerichteten Zimmer mit gläsernen Wänden und gläserner Decke die Perseiden beobachten, so wüßten wir mit dem besten Willen nicht, weshalb die aus dem „Fluchtpunkt" strebenden, untereinander parallelen Zimmerkanten in rein räumlicher Beziehung anders gedeutet werden sollten als die sie zum Teil direkt fortsetzenden oder mit ihnen zusammenfallenden Meteorlinien (Bild 195). Diese sind also im Raum selbst parallel, ihre Radiation aus einem Punkt ist nur eine Sache bloßer Perspektive.

(13) Perseiden. Aus der Geschwindigkeit und anderem konnte man deren Bahn als eine um die Sonne als Brennpunkt gelegte Ellipse ermitteln. Der Komet 1862 III läuft in genau derselben Ellipse, so daß anzunehmen ist, daß die Teile des Meteoritenschwarmes Auflösungsprodukte dieses Kometen bedeuten. Da wir den Kometenkopf als Meteoritenhaufen bezeichneten, wäre obige Vermutung zunächst gerechtfertigt, doch bedarf es noch einer weiteren Erläuterung, warum nämlich der ganze Meteoritenstreifen einen geschlossenen Ring darstellt. Die einzelnen Teile des ursprünglich intakten Kometen liefen zunächst, da sie in gleicher Entfernung von

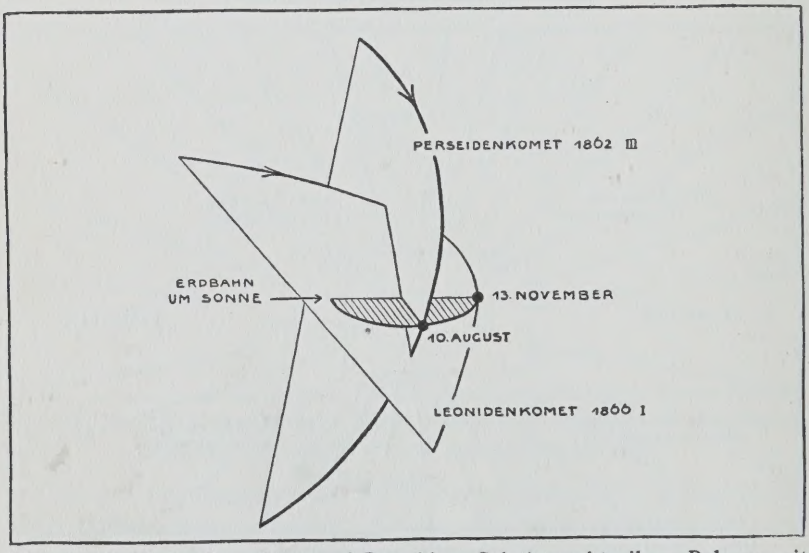


Bild 196. Lauf der Perseiden und Leoniden. Schnittpunkte ihrer Bahnen mit der Erdbahn. Räumliches Modell

der anziehenden Sonne waren, gleich rasch um diese und hatten jedenfalls gleiche Umlaufszeiten. Bei näherer Betrachtung sind freilich die sonnseitig liegenden Teilchen einer, wenn auch um weniges größeren Anziehungskraft ausgesetzt als die Teile auf der anderen Seite des Kometen, die um die Dicke des Kometen weiter von der Sonne abstehen. Der Unterschied bedeutet zunächst kaum etwas, aber im Verlauf der langen Zeiträume wiederholter Umläufe — der des Perseidenkometen 1862 III beträgt 120 Jahre — macht sich die Differenz allmählich insofern bemerkbar, als die äußersten Teile langsamer und die inneren rascher umlaufen. Die ganze Menge zieht sich mehr und mehr auseinander, bis schließlich die raschesten die langsamsten Teile einholen und die Bahn im Verlauf der Zeiten immer geschlossener, einheitlicher wird. In diesen Ring „kosmischen Staubes", den wir uns im Raum festgelegt vorstellen müssen, tritt die Erde stets um den 10. August ein. Je nach der Breite dieser Meteoritenstraße benötigt die Erde drei, vier Tage oder mehr, um sie zu durcheilen. Abseitslaufende Meteoriten können von der Lufthülle der Erde schon einige Wochen vor oder nach den Perseidennächten aufgefangen werden. So wurden Perseiden schon vom 10. Juli an registriert. — Im Bild 196 ist außer der Perseidenbahn auch die Bahn der Löwensternschnuppen (S. 365) eingezeichnet, die um die Mitte des November erscheinen und in der Bahnlinie des Kometen 1866 I laufen. Das nach dem großen Fall von 1866 erfolgte Ausbleiben der ehemals alle 33 oder 34 Jahre eintretenden besonders dichten Leonidenregen kann nach den Enttäuschungen von 1899 und 1932 durch die sichere Annahme erklärt werden, daß Jupiter durch störenden Einfluß den Meteorring der Leoniden von der Erdbahn wegzog.

(14) Kometarische Schwärme. An der Zusammengehörigkeit von Kometen und Meteorschwärmen ist im Falle der

Radiation	Datum	Ursprungskomet	Umlaufszeit
Leier	20. April	1861 I	415 Jahre
Wassermann	6. Mai	1910 II	76 „
Drache	16. Juni	1858 III	6 „
Perseus	10. August	1862 III	120 „
Drache	9. Oktober	1900 III	6½ „
Löwe	13. November	1866 I	33 „
Andromeda	27. November	1852 III	7 „

Perseiden und Leoniden nicht zu zweifeln, doch ist eine allgemeine Bezeichnung der Meteore als Objekte kometarischen Ursprungs nicht zulässig. Es scheint dies höchstens bei den in vorstehender Tabelle genannten sieben Schwärmen der Fall zu sein, die wir nach den Sternbildern ihrer Radiation anführen. — Der Komet 1910 II ist der Halleysche, 1852 III der Komet Biela, 1900 III der Komet Giacobini 2-Zinner.

NEUNTER ABSCHNITT
DREIKÖRPERPROBLEM UND STÖRUNGEN

Zweikörperproblem / Dreikörperproblem / Vielkörperproblem / Spielkugeln und Astronomie / Numerische Integration / Berechenbare Fälle / Trojanerdreieck / Allgemeines Störungsproblem / Störungsfunktion / Spezielle Störungen / Restringiertes Problem / Fahrt „zum Mond" / Störungstafel / Störungen der Jupitermonde / Saturnringlinien / Inkommensurabilität im Planetensystem / Stabilitätsproblem

(1) Zweikörperproblem. Wir stellen uns eine ideal waagrechte marmorne Billardplatte ohne Tuchbespannung vor und denken uns alle Reibung weggezaubert, so daß schon der leiseste Hauch die Kugeln in Bewegung setzen kann. Zwei Bälle seien je ein drittel Kilogramm schwer, ideal kugelförmig und aus gleichmäßigem Material hergestellt. Legen wir sie dreißig Zentimeter voneinander entfernt auf die Platte, so ziehen sie sich — alles übrige in der Welt weggedacht — infolge der Gravitationswirkung gegenseitig an und treffen sich in ihrem gemeinsamen Schwerpunkt nach soundso viel Tagen. Erteilen wir ihnen in ihren ursprünglichen Stellungen je eine leichte Bewegung ungefähr senkrecht zu ihrer gegenseitigen Verbindungslinie, dann beschreiben die Kugeln Ellipsen oder andere Kegelschnittlinien um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Bewegungen solcher Art zu ermitteln, auch für den Fall, daß die beiden Kugeln verschiedene Massen haben, ist Gegenstand des schon früher besprochenen Zweikörperproblems. Die Aufgabe ist, wie wir schon zeigten, restlos zu lösen.

(2) Dreikörperproblem. Jetzt soll ein Fall mit drei Billardkugeln den Ausgangspunkt weiterer Betrachtung liefern. Unter denselben erdachten Idealbedingungen wie vorhin legen wir sie auf die reibungslose Platte. Jede Kugel wird von den beiden anderen angezogen oder, was dasselbe bedeutet, von der in deren Schwerpunkt vereinigt gedachten gesamten Masse der beiden anderen Kugeln. Die drei Kugeln erhalten eine stets wachsende Geschwindigkeit gegen den gemeinsamen Schwerpunkt aller drei Massen und treffen in sound-

so viel Tagen dort zusammen. Dieses Gedankenspiel versinnbildlicht ein Beispiel des Dreikörperproblems, allerdings das denkbar einfachste und ein gar zu spezielles. Denn erstens sind hier die drei Körper von gleicher Masse. Zweitens haben sie von vornherein keine Geschwindigkeit gegeneinander, da wir sie als ruhend hinstellten. Wir könnten ja den Kugeln verschieden große Bewegungen in den verschiedensten Richtungen erteilen. Drittens garantiert hier in unserem Fall die feste Tischplatte, daß keine andere, als nur eine waagrechte Bewegung in Betracht kommt. Wir müssen uns aber auch vorstellen können, daß verschieden schwere und beliebig bewegte Kugeln sich von der Platte weg oder unter das Niveau derselben irgendwie bewegen können. Machen wir uns also von den drei aufgezählten Einschränkungen frei, dann erhalten wir Bewegungsformen, deren Ermittlung Aufgabe des berühmten Dreikörperproblems ist. Es ist in seiner Allgemeinheit praktisch ungelöst, doch gibt es Fälle — viele uns in der Astronomie besonders interessierende sind solche — die mit Erfolg berechenbar sind.

(3) Vielkörperproblem. Das Bewegungsproblem wird zunächst wesentlich verwickelter, wenn wir noch mehr Kugeln starten lassen. Bei vier und mehr solcher Massen spricht man vom Mehr- und Vielkörperproblem. Solche Fälle vieler Körper stellt z. B. außer dem gesamten Planetensystem insbesondere der Schwarm der Kleinplaneten dar und ein anderes wird uns im letzten, stellaren Teil unseres Buches beschäftigen, wenn wir von den kugelförmigen Sternhaufen sprechen. Das Vielkörperproblem ist als solches zunächst unlösbar. So leicht es aber ist, die wachsende Schwierigkeit zu begreifen, wenn wir statt drei, vier oder fünf Körpern deren zehn oder zwanzig nehmen, so überraschend ist es vielleicht, zu erfahren, daß bei vielen tausend oder hunderttausend Körpern oder vielen Millionen die Angelegenheit in gewisser Hinsicht wieder einfacher wird. Für einen einzelnen Körper als Individuum läßt sich dann natürlich dessen Bahn — im wahrsten Sinne des Wortes könnte man statt Bahn hier Schicksal sagen — nicht vorherbestimmen, aber nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung kann man spätere Gesamtzustände dieser Vielkörperwelt doch irgendwie beurteilen. Es ist ähnlich wie bei der klugen Voraussicht einer Lebensversicherungsgesellschaft. Sie weiß es nicht, wann ein einzelner Klient das Zeitliche segnen wird. Es muß ihr auch uninteressant bleiben. Doch ist sie dessen sicher, daß ihre

Amerikanebel (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl)

Schleiernebel im Schwan (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl)

statistischen Tabellen gute brauchbare Durchschnittswerte für die Lebensdauer im versicherten Publikum geben. Ein Beispiel mechanischer Art kann auch die Sanduhr bieten mit ihren, ich weiß nicht wieviel Körnchen darin. Von einem einzelnen Korn können wir etwa nach erfolgtem Umschütteln unmöglich angeben, wann es durch den Glashals fällt. Aber mathematisch gewiß ist es, daß es innerhalb soundso vieler Minuten geschieht, je nachdem wie die Sanduhr dimensioniert ist.

(4) Spielkugeln und Astronomie. Wenn wir unsere Vergleiche mit irdischen Billardkugeln beginnen, so dürfen uns Astronomen keine Vorwürfe machen, daß wir ihre Planeten und Monde profanieren, denn dann müßten die Atomphysiker, die bei ihren Molekülen und Atomen das Vielkörperproblem noch viel intensiver anzuwenden haben, uns mit demselben Rechte mahnen, daß so große, vielleicht milliardenfache Vergrößerungen ihrer bewegten Körperchen bis zur Größe von Billardkugeln denn doch unangebracht seien. Es dürfte gerade unsere Vergleichsskala also so „recht in der Mitte" zwischen Astronomie und Physik liegen. Wir werden demnach bei unseren Vergleichen bleiben und wenn wir große und astronomische Massen meinen, Eisenkugeln als Veranschaulichungsmodelle in Betracht ziehen und neben diesen gegebenenfalls Holundermarkkügelchen auftreten lassen, wenn wir Massen meinen, deren Geringfügigkeit gegenüber den anderen außer acht gelassen werden kann und soll.

(5) Numerische Integration. Drei verschieden schwere Objekte, im Weltraum in beliebiger Richtung sich bewegend, geben den Mathematikern zunächst eine für praktische Zwecke, etwa die der Bahnbestimmung, unlösbare Aufgabe. Wir haben auf den Unterschied zwischen Masse und Gewicht wiederholt und ausdrücklich aufmerksam gemacht. Wenn wir trotzdem von schweren Körpern sprechen, statt von massenreichen, so folgen wir äußerlich dem Sprachgebrauch. Das Dreikörperproblem ist allgemein selbst dann nicht lösbar, wenn alle drei Körper sich in einer und derselben Ebene bewegen, doch gibt es bei dieser, in Wirklichkeit sich uns oft darbietenden Bevorzugung einer Ebene Fälle, die doch irgendwie behandelt werden können, entweder erstens „rein mathematisch", wenn auch nur angenähert, zweitens: zahlenmäßig oder „numerisch". Der Unterschied der beiden Methoden — in Schlagworten: „mathema-

tisch" und „numerisch" — soll an einem Vergleich nach Bild 197 veranschaulicht werden. — Ein Autofahrer will von der Ortschaft namens „Start" nach der Ortschaft „Ziel" fahren, die er nur dem Namen nach kennt, von der er nicht weiß, wo sie und wie weit sie zeitlich liegt, wird aber von den Bewohnern von Start vergewissert, daß sich in jeder Ortschaft weit und breit zuverlässige Wegweiser befinden, die für denjenigen die beste Straße kennzeichnen, der zu irgend einem beliebigen Ort reisen will. Der Fahrer erreicht auf das hin sein Ziel, ohne weder beim Start noch in irgend einer der Zwischenstationen im

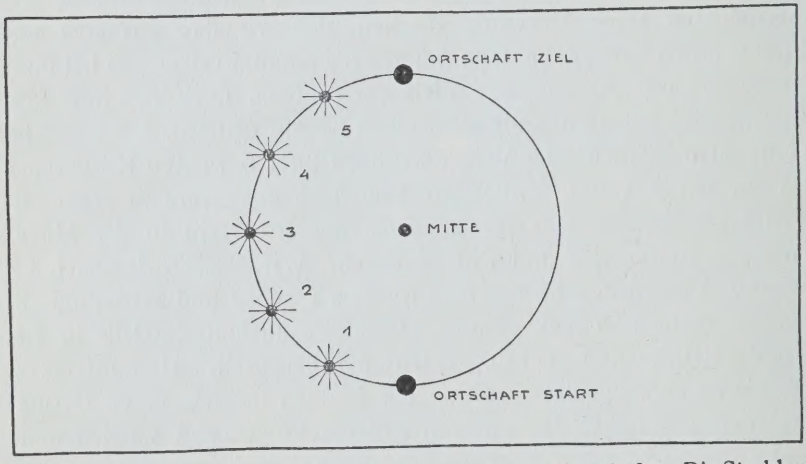


Bild 197. Zum Thema: Numerische Integration. Sieben Ortschaften. Die Strahlen bedeuten Wegweiser.

voraus gewußt zu haben, an welcher Stelle seine Reise enden wird. Hat der Fahrer aber — etwa mit Hilfe eines Kompasses — auf der Fahrt beispielsweise festgestellt, daß er seine Fahrtrichtung in gleichlangen Zeitintervallen immer um denselben Winkel nach rechts gedreht hat, dann stellt er — eben nachträglich — fest, daß er im halben Kreis gefahren ist und kann dann, wenn er wieder in kreisförmiger Bahn weiterfährt und so wieder in Start anlangt, hier jedem das Rezept geben: Fahren Sie im Kreis soundso und das Ziel ist erreicht.

Der erste Fahrer ist in diesem Fremdland sozusagen Entdecker. Er muß schrittweise weiterkommen, von Punkt zu Punkt. Dann erst — unter keinen Umständen vorher — liegt die Bahnform ihm klar vor Augen. Im Fremdland „Weltraum" ist die Geschichte ähnlich.

Wir können nicht ahnen, wo ein von der Ortschaft Eins, irgendwo im Weltall abseits von Mond und Erde, soundso weit liegender „dritter Körper" enden wird, wenn er eine bestimmte Richtung und Geschwindigkeit unter dem Einfluß von Mond und Erde erhält. Man kann die Bahn nur für einen „ersten Schritt" berechnen. Ist man so in Punkt Zwei rechnerisch angelangt, dann kann man hier den Einfluß von Mond und Erde neuerdings ermitteln, bekommt eine neue Geschwindigkeit und neue Richtung für den dritten Körper, als ob wir in der Ortschaft Zwei einen Wegweiser befragt hätten. So arbeiten wir uns — rechnerisch, numerisch — durch den Raum fort. Man nennt diese stückweise Arbeit mitsamt ihrem enormen Formelapparat, der dazu gehört, „numerische Integration". Ist man erst nach mühsamer Rechnerei am Ziel, Station etwa Numero Hundert angelangt, dann kann man, wenn man bei der numerischen Integration ebenso vom Entdeckerglück sprechen darf, wie im Falle des Autofahrers, „rein mathematisch" z. B. sagen: der dritte Körper hat bis „Hundert" einen Halbkreis zu beschreiben, dessen Mitte genau zwischen Ausgang und Punkt Hundert liegt. — Rein mathematische Methode und numerische Integration sind die beiden Künste, durch die man dem Dreikörperproblem in sechs verschiedenen Fällen beikommen konnte. Die Behandlung ist infolge dieser grundsätzlich verschiedenen Methoden eine zweifache. Man könnte, wenn man wollte, die erste, nach rein mathematischen Gesichtspunkten erfolgende als „Problem der drei Körper", die andere als „Problem des dritten Körpers" bezeichnen.

(6) Berechenbare Fälle. Die sechs berechenbaren Fälle des Dreikörperproblems — unter ihnen auch bereits bekannte — mögen unter A bis F gesondert angeführt und, so gut es geht, an Hand von Bild 198 veranschaulicht werden: Fall A: Zwei gleich schwere Eisenkugeln laufen umeinander im Kreis. Irgendwo in der Achse der Kreisbahn wartet ein Holundermarkkügelchen als dritter Körper. Es pendelt infolge der Massenanziehung in alle Ewigkeit in dieser Achse hin und her. Die Lösung ist rein mathematisch durchführbar und liefert als Ergebnis eben die angedeutete „periodische Bahn". Die Dauer eines Hin- und Herganges der Pendelung ist berechenbar. — Fall B: Drei gleichschwere Eisenkugeln bilden ein gleichseitiges Dreieck im Weltraum. Sie sollen sich nur in der Ebene dieses Dreieckes bewegen. Resultat der Berechnung: Alle drei Körper be-

schreiben einander ähnliche Kegelschnitte. Auch dieser Fall ist „rein mathematisch" zu lösen. — Fall C: Eine große und eine viel kleinere Elfenbeinkugel kreisen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Die Bahn der kleineren Kugel wird durch eine dritte, große, schwere

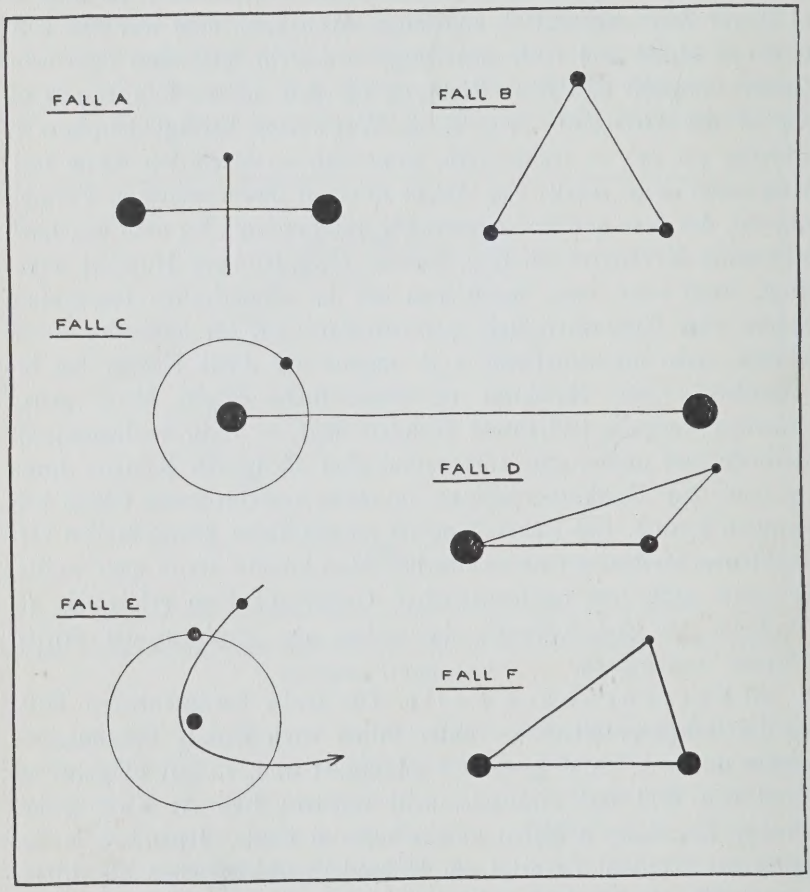


Bild 198. Dreikörperproblem: Schemen der sechs berechenbaren Fälle

Eisenkugel, die etwa sehr weit draußen irgendwo in der Ebene der Bahn liegt, gestört. Das Problem ist zwar rein mathematisch, aber nicht in geschlossener Form, sondern durch Formeln von der Form unendlich langer Reihen zu lösen, die beim soundso vielten Glied abgebrochen werden müssen. Man benützt also Näherungsmetho-

den. — Fall D: Eine große Eisenkugel und eine viel kleinere, ebenfalls aus Eisen, bewegen sich umeinander. Welchen Weg nimmt ein Holunderkügelchen als dritter Körper derselben Ebene? Diese Aufgabe stellt das „ältere restringierte Problem" dar. Auch dieses ist durch Näherungsmethoden zum Teil gelöst worden. — Fall A bis D sind jedenfalls „rein mathematisch" zu erledigen, dagegen die nun folgenden zwei letzten Fälle nur nach den Regeln der numerischen Integration. — Fall E: Eine zweite schwere Kugel bewegt sich um eine erste in einem Kegelschnitt, etwa in einer Parabel. Nun kommt eine dritte. Wir wissen, daß zu ganz bestimmten Zeiten ganz bestimmte Kräfte auf die Kugel wirken. Wir sagen: Wir kennen die Kraft „als Funktion der Zeit". Es kommt in diesem Falle die numerische Integration zur Anwendung. Fall F: Zwei gleich schwere Eisenkugeln kreisen irgendwie umeinander. In der Ebene dieser Bahnen befindet sich eine Holundermarkkugel. Welches sind die möglichen Bahnen dieses dritten leichten Körpers? Auch dies Problem ist mit den Mitteln der numerischen Integration lösbar. — Die folgenden Kapitel sollen an Hand des Bildes 198 astronomische Beispiele bringen, doch geben wir vorher eine Übersicht über die sechs lösbaren Fälle:

Methode:	mathematisch in geschlossener Form	mathematisch durch Näherung	numerische Integration
Fall:	A und B	C und D	E und F

(7) Trojanerdreieck. Ein Weltkörper, der in der Rotationsachse eines Doppelobjektes hin- und herpendelt, wie es nach Fall A in Bild 198 theoretisch möglich wäre, ist noch nicht beobachtet worden; ebenso bildet auch für den Fall B das Verhalten einiger Kleinplaneten, der „Trojaner", nur ein angenähertes Beispiel. Bildet einer von ihnen mit Jupiter und Sonne ein gleichseitiges Dreieck, dann bleibt er auch in dem Eck dieses Dreieckes oder pendelt, libriert, wenn er nur angenähert diese regelmäßige Figur mit Jupiter bildet, um den Eckpunkt dieses Dreieckes herum. So besteht eine dauernde Stabilität in dem System „Sonne - Jupiter - Trojaner". Diese Stabilität kann allenfalls durch Saturn als vierten Körper zerstört werden.

(8) Allgemeines Störungsproblem. Im Fall C ver-

wandeln wir, um ein Beispiel zu bringen — große und kleine Elfenbeinkugeln in Erde und Mond. Ihr gemeinsamer Schwerpunkt liegt im Erdkörper. Die weitab stehende Eisenkugel wird zur massenmächtigen Sonne. Es war möglich, unter Verwendung unendlicher Reihen Formeln aufzustellen, nach denen man mit beliebiger Genauigkeit Störungen ermitteln kann, denen die Mondbahn durch die Sonne ausgesetzt ist. Die Rechenergebnisse haben wir in den Abschnitten über den Mond zum Teil kennengelernt. In seiner astronomischen Anwendung stellt dieser Fall das „allgemeine Störungsproblem" dar. — In der Theorie wird bei der Aufzählung der überhaupt wirksamen Beschleunigungen kunstvoll ein mathematischer Ausdruck herausgeholt und formuliert, den man die „Störungsfunktion" nennt, aus dem man Richtung und Größe der störenden Beschleunigung errechnen kann. — Das allgemeine Störungsproblem kennzeichnen außer dem eben angeführten noch zwei weitere typische Beispiele: Wenn die Sonne Zentralkörper und die Erde umlaufender Körper ist, kann die Störung, die die Erdbahn etwa durch Venus als dritten Körper erfährt, als Dreikörperproblem von der Art dieses Falles C betrachtet werden. In einer „Störungstafel" (Bild 200) sind die häufig in Betracht kommenden Störungen dieser Art übersichtlich zusammengestellt. Erläuterungen gibt Kapitel 13 dieses Abschnittes. Einen dritten Gegenstand für Fall C bildet der Einfluß des Äquatorwulstes der Erde auf die Mondbahn. Wir denken uns die Erde des Äquatorwulstes zunächst beraubt, also die Kugel mit dem Polarradius als Halbmesser als Zentralkörper, um den der Mond als zweiter Körper vorläufig ungestört läuft, dann verwandeln wir in Gedanken den Äquatorwulst in einen ihm massengleichen, die Erde in 24 Stunden umlaufenden, dritten Körper, der die Mondbahn stört.

(9) Störungsfunktion. Bildtafel XXX, oben, zeigt ein Modell. Es liege vor uns auf dem Tisch. In der Mitte der konzentrischen Kreise soll z. B. das dunkle Scheibchen die Erde vorstellen. In gleicher Höhe vom Tisch wie die Erde soll in der Achse der emporragenden, sich nach oben stark verjüngenden Erhebung die Sonne sein. Das mitabgebildete Sonnenscheibchen ist in gleicher Höhe mit dem Erdscheibchen vorzustellen. In einer der konzentrischen Bahnen kann irgend ein „Mond" — wir können ohne weiteres an den unseren denken — umlaufen, im Modell als kleinstes Scheibchen angedeutet. Die Größe der störenden Beschleunigung ist durch die

Steilheit der Linienzüge im Modell veranschaulicht. In der unmittelbarsten Nähe der Sonne wären die störenden Beschleunigungen unendlich groß, denn die Erhebung links — im Modell aus guten Gründen abgeschnitten — endigt in eine zugespitzte Form mit schließlich unendlich steiler Wandung. — An gewissen Stellen des Modells, z. B. vorne links, zeigen die konzentrischen Kreislinien Sättel. In deren tiefsten Punkten ist weder ein Steigen noch ein Fallen in tangentialer Richtung vorhanden. Die Tangentialkomponente der störenden Beschleunigung ist hier gleich Null. Nichtsdestoweniger sind gerade in diesen Punkten deutliche Abfälle in radialer, oder zu den Tangenten der Kreislinie normaler Richtung, also radiale Beschleunigungen, vorhanden. Die Richtung der störenden Beschleunigung wird für einen beliebigen Punkt durch die Richtung angezeigt, nach der die oberen Grenzlinien der Modellrippen ansteigen. — Stellen wir uns die tangentialen und radialen Rippen im Modell, vielleicht noch dichter vorhanden, durch eine sich ihnen vollkommen anschmiegende gekrümmte Fläche überzogen vor, dann stellt diese Fläche eine räumliche Veranschaulichung der Störungsfunktion dar. Das Modell hat nicht nur für Erde, Mond und Sonne, sondern ganz allgemein für den Fall Gültigkeit, daß sich die drei betrachteten Körper in ein und derselbe Ebene bewegen.

(10) Spezielle Störungen. Im Gegensatz zum eben erörterten allgemeinen Störungsproblem, bei dem von vornherein die „Störungsfunktion" für den ganzen Weg des gestörten Körpers mathematisch angebbar ist, wird, besonders bei Kleinplaneten und Kometen, die der beobachteten Bahn am besten sich anschmiegende „momentane" Ellipse oder Parabel berechnet, dann entsprechend der Einfluß eines ersten nächsten störenden Planeten ermittelt, dann „Schritt für Schritt" jede Störung von seiten dieses oder eines anderen Planeten von neuem in Betracht gezogen. Kurzum, statt die allgemeine Störungsfunktion auszunützen, wird nach den Regeln der numerischen Integration vorgegangen. Man bezeichnet dies Verfahren als Methode der speziellen Störungen. Ihr entspricht der Fall E. „Allgemein und speziell" als Attribut der Störungen bezieht sich weniger auf die wirklichen astronomischen Vorgänge, die in beiden Fällen im Grunde dieselben sein können, als auf die Methode, doch handelt es sich im großen und ganzen bei nahezu kreisförmigen gestörten Bahnen um „allgemeine", bei sehr exzentrischen gestörten Bahnen, wie im

Falle der Kometen, um „spezielle Störungen". — Daß zwei große Störungstheoretiker, wohl nur zur Unterhaltung, einmal betont haben, daß in Wirklichkeit nichts gestört wird als die Bequemlichkeit unserer Rechnung und alle kosmischen Störungen im Grunde als Fehler aufgefaßt werden dürfen, die wir in unseren Voraussetzungen gemacht haben, tut der Tatsache keinen Abbruch, daß die Störungstheorie Ergebnisse imponierender Sicherheit in ihrer astronomisch-praktischen Anwendung gezeigt hat und zeitigt.

(11) Restringiertes Problem. Fall D und F stellen das ältere und das neuere „restringierte Problem" dar. Es heißt bescheiden das restringierte, eingeschränkte, weil es in seiner Abgrenzung gegen das allgemeine Dreikörperproblem für den dritten Körper die Voraussetzung macht, daß dessen Masse unendlich klein sei, daß er selbst also keinerlei Störung auf die zwei ersten umlaufenden Körper ausübt, also ganz als passiver Teil betrachtet wird. Für zwei besondere Gestaltungen der Aufgaben innerhalb dieses Problems hat man periodische und „asymptotische" Lösungen finden können. Die letzteren sind solche, bei der die Bewegung des dritten Körpers sich z. B. irgend einem Punkt erst in unendlich langen Zeiten auf unendlich kleinen Abstand nähert. Im Falle D, dem älteren restringierten Problem, wird zunächst der dritte Körper massenlos, der erste Körper als bedeutend massenreicher als der zweite angenommen, dabei aber Kreisbewegung der zwei schweren Körper vorausgesetzt. Rein mathematische, Näherungsmethoden, führen hier zum Ziel. Fall F kennzeichnet das moderne Strömgrensche restringierte Problem. Es ist wieder die dritte Masse unendlich klein, während die erste Masse gleich der zweiten ist. Eine Abart dieses Problems ist jenes, ebenfalls lösbare, bei dem unter sonst gleichen Umständen der eine der schweren Körper 10mal massenreicher ist als der zweite. Für den Fall der Gleichheit der ersten und zweiten Masse ergeben sich in sich selbst immer wieder übergehende, also periodische, sowie auch asymptotische Bahnformen. Zur ganz ungefähren Charakteristik derartiger, in ganzen Gruppen auftretender Kurven soll ein ganz spezielles Beispiel unter dem Titel einer Mondfahrt veranschaulicht werden, der nicht mißverstanden werden möge.

(12) Fahrt „zum Mond". Der Mond und die Erde sind durchaus nicht massengleich. Sie kämen also als Beispiele für das moderne restringierte Dreikörperproblem, das Gleichheit des ersten

und zweiten Körpers verlangt, nicht in Betracht. Wir könnten zwei andere Himmelskörper suchen, erleichtern uns aber die Möglichkeit, uns alles recht anschaulich vorzustellen, wenn wir uns nur einzig und allein für den Belang dieses Kapitels einbilden, daß der Mond die gleiche Masse hätte wie die Erde, und untersuchen die Bahn eines dritten Körpers, der nur von den beiden ersten Körpern angezogen wird. Es möge ein Geschoß mit verschiedenen Geschwindigkeiten und in verschiedenen Richtungen von der Erde weggeschossen werden. Wenn dieser Mond und diese Erde und dieses Geschoß, das wir uns kugelförmig und mit Passagieren versehen denken wollen, im Raum dahinfliegen, werden zunächst Mond und Erde umeinander kreisen. Die dritte, unendlich kleine Masse wird die Bewegung der zwei großen Massen nicht beeinflussen. Das setzen wir voraus und ebenso ist im Sinne des zu behandelnden Problems Grundbedingung, daß die beiden großen Körper im Kreis umeinanderlaufen, d. h. ihre gegenseitige Entfernung stets dieselbe bleibt. Die Bewegungen des dritten Körpers beziehen wir dann auf die Strecke Erde - Mond, die sich in ihrer Länge

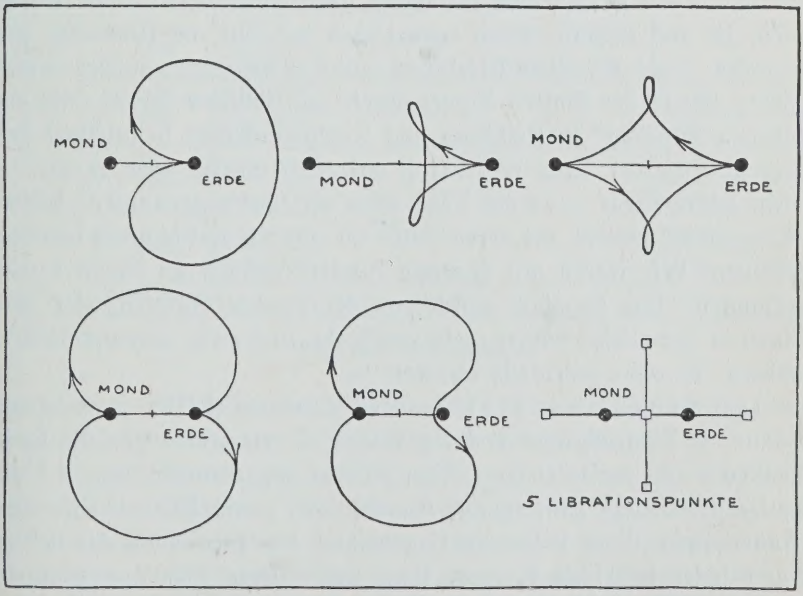


Bild 199. Zum Thema: Restringiertes Dreikörperproblem. Veranschaulichung in Form einer „Reise zum Mond". Mond und Erde haben in diesem Schema gleiche Massen.

immer gleichbleibt. Nageln wir also Erde-Mond ein- für allemal in unseren Skizzen fest — wir haben ja dazu das Recht, da alle Bewegung relativ ist und wir Erde-Mond eben als Bezugsbasis annehmen wollen — dann beschreibt der dritte Körper die abenteuerlichsten Bahnen, aus denen wir einige beschreiben wollen, als ob es lauter „Fahrten zum Mond" wären, von denen man ja seit Jahrhunderten so gerne träumt. Eine direkte geradlinige Verbindung wäre nur für unendlich große Geschwindigkeit möglich, die wir ausschließen müssen. Wird gegen den Mond gezielt (Bild 199, Figur 1), dann biegt das Geschoß von der Geraden ab, zieht in großem Bogen hinter der Erde herum und kommt endlich, als ob es vom Mond direkt käme, wieder zum irdischen Ausgangspunkt zurück. Zweite Figur: Das Geschoß beschreibt zwei Schlingen, zwischen denen es vor dem Mond defiliert und war schließlich wieder nicht am Ziel. In der dritten Figur wird nach Überwindung einer einmaligen Schlinge das Ziel erreicht und auf ähnlichem Wege könnte man dann vom Monde aus heimfahren. Merkwürdig sind die Bahnen der vierten Figur. Man schießt nicht dorthin, wo der Mond ist, sondern justament nach der anderen Seite, wo er nicht ist und kommt, wenn man Glück hat, auf die Rückseite des Mondes. Nach derselben Erfahrung ginge es dann auch zurück, wenn nicht, wie in der fünften Figur, durch „ein bißchen Zuviel oder ein bißchen Zuwenig" in Richtung und Geschwindigkeit beim Start das Geschoß vor der Erde respektvoll ausbiegen müßte oder es gar — siehe letzte Figur — in die Nähe eines der fünf sogenannten „Librationspunkte" geriete, aus deren Bann wir uns nie und nimmer befreien könnten. Wir wären mit unserem runden Vehikel an diesen Punkt gebunden. Das Geschoß würde um die Punkte librieren oder sich ihnen in Spiralfahrt immer mehr und mehr, und zwar „asymptotisch", nähern. Es wäre jedenfalls verloren. —

(13) Störungstafel. In der Störungstafel (Bild 200) ist die Sonne als Zentralkörper und ein Planet — wir können an die Erde denken — als umlaufender zweiter Körper angenommen, dessen Umlaufszeit, mittlere Entfernung, Apsidenlinie, sowie Exzentrizität und Änderungen dieser Elemente Gegenstand der Tafel sind. Als dritter kann jeder beliebige Körper, etwa ein anderer Planet, genommen werden. Die zeitlichen und räumlichen Eigenschaften einer störenden Kraft machen für die Tafel zweierlei Eingänge notwendig, horizontale mit 17 Zeilen und vertikale mit vier Spalten, deren Gliederung sich

aus den Beschriftungen ergibt. Wird statt der Begriffe „Sonne“ und „Planet“ allgemein gesagt „Zentralkörper“ und „gestörter Körper“, dann erweitert sich der Anwendungsbereich dieser Tafel und sie ist dann auch in der Mondtheorie, auch bei Ermittlung der Störungen ferner Planetenmonde, wie der Jupiter- oder Saturnmonde, anwendbar. Statt der tangentialen Kräfte, die wir in der Theorie des Mondes an-

P-TAFEL STÖRUNGSTAFEL VON PROFESSOR DR OSWALD THOMAS-WIEN					Die störende Kraft wirkt			
					zur SONNE hin	von der SONNE weg	in der Bahnrichtung des Planeten	entgegengesetzt d. Bahnrichtung des Planeten
Die störende Kraft wirkt lang:	radial	konstant	wenn a konstant	Umlaufszeit wird	kleiner	größer		
			wenn T konstant	Mittl. Entfernung wird	größer	kleiner		
		variabel	wachsend	Umlaufszeit und mittl. Entfernung werden	kleiner	größer		
			abnehmend		größer	kleiner		
	rechtwinklig zum Radiusvector			Umlaufszeit und mittl. Entf. werden			größer	kleiner
Die störende Kraft wirkt kurz:	radial	in der Nähe der Apsiden	vor und nach dem Perihel	Apsidenlinie schreitet	vorwärts	zurück		
			vor und nach dem Aphel		zurück	vorwärts		
			zwischen Perihel u. Aphel auf d. Linie senkrecht zur Apsidenl.		weder vorwärts noch zurück			
		außerhalb der Apsiden	vom Perihel zum Aphel	Excentricität wird	kleiner	größer		
			vom Aphel zum Perihel		größer	kleiner		
	rechtwinklig zum Radiusvector	in der Nähe der Apsiden	in der Nähe des Perihels	Excentricität wird			größer	kleiner
			in der Nähe des Aphels				kleiner	größer
		außerhalb der Apsiden	vor dem Perihel	Apsidenlinie schreitet			zurück	vorwärts
			nach dem Perihel				vorwärts	zurück
		außerhalb der Apsiden	vor dem Aphel				vorwärts	zurück
			nach dem Aphel				zurück	vorwärts
		in der Apside		Apsidenlinie schreitet			weder vorwärts noch zurück	

Bild 200. Störungstafel

nahmen, wird in der Störungstafel die rechtwinkelig zum Leitstrahl gezogene Richtung der Betrachtung zu Grunde gelegt.

(14) Störungen der Jupitermonde. Aus der großen Menge der Probleme, die sich aus den gegenseitigen Störungen der Planetenmonde ergeben, sollen nur drei einfache Beispiele aus dem Bereich der Jupiterwelt herausgegriffen werden. Dauernd wirkende gegenseitige Anziehungen tragen in das System der vier hellen Jupitermonde gewisse dauernde Zustände hinein. So fällt die Linie der Konjunktion des II. und III. Mondes immer derart mit der

Linie der Konjunktion des I. und II. Mondes zusammen, daß beide Linien, eine als direkte Fortsetzung der anderen, auf verschiedenen Seiten des Jupiter liegen (Bild 201). Wenn des weiteren bei zwei Jupitermonden die Umlaufszeit des äußeren ein wenig größer ist als das Doppelte der Umlaufszeit des inneren und wir annehmen, daß die Bahnen immer dieselbe Gestalt haben, dann liegen die Planetennähe

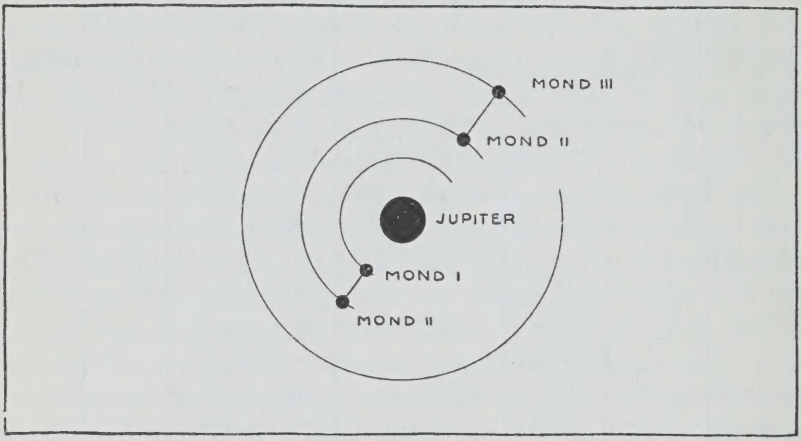


Bild 201. Stabilität im System der Jupitermonde: Gebundene Konjunktionen

des inneren und die Planetenferne des äußeren auf einer Seite Jupiters und mit ihm in einer Geraden. Wäre entsprechend die Umlaufszeit des äußeren Mondes ein wenig kleiner als das Doppelte der Umlaufszeit des inneren, dann lägen die Planetenferne des inneren und die Planetennähe des äußeren Mondes ebenfalls auf einer Seite Jupiters und mit ihm wieder in ein und derselben Geraden (Bild 202). Des weiteren besteht auch ein Zusammenhang zwischen den Ekliptiklängen der Jupitermonde I, II, III. Bezeichnen wir diese beziehungsweise als erste, zweite und dritte Länge, so ergibt sich das folgende Gesetz: Die erste Länge, einmal genommen, minus der zweiten Länge, dreimal genommen, plus der dritten Länge, zweimal genommen, ergibt zusammen 180 Grad. — Aus diesem Gesetz wieder folgt eine weitere Regel: Die drei inneren hellen Monde I, II und III können nie alle zugleich so stehen, daß sie einen geraden Strahl von Jupiter weg bilden. In diesen Fällen müßten nämlich die drei Ekliptiklängen einander gleich sein. Aber für gleiche Stücke kann die im Längengesetz enthaltene

Rechenregel nicht gelten. Man erhielte als Resultat Null statt 180 Grad. Dies alles ist nur eine bescheidene Auswahl aus den vielen

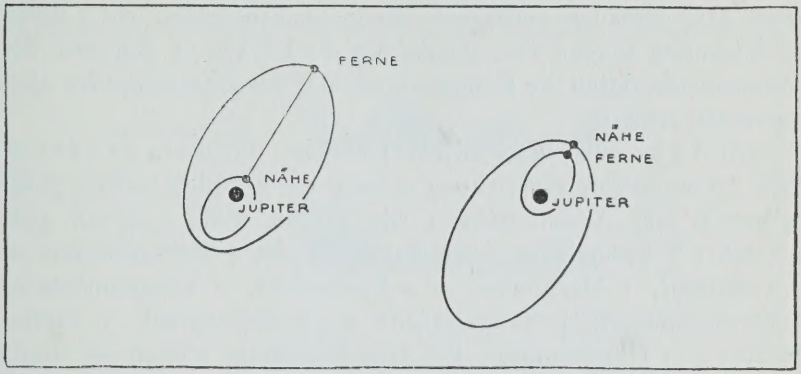


Bild 202. Stabilität im System der Jupitermonde: Konjunktionen von Jupiternähe und Jupiterferne

Problemen, die das Jupitersystem im Rahmen der Störungstheorie bieten kann.

(15) Saturnringlinien. Die dunkeln Linien im Saturnring sind so zu deuten: Der Ring besteht aus Meteoriten und wir nehmen an, daß z. B. in der leeren Cassinischen Teilung nur ein einziger Meteorit, d. h. hier Ringbestandteil, kreise. Sein Abstand von der Saturnmitte würde rund 120 000 Kilometer und seine Umlaufszeit nach den Planetengesetzen etwa 11 Stunden betragen. Der Saturnmond Mimas braucht etwa 23 Stunden zu einem Umlauf, also ungefähr doppelt soviel als der angenommene Meteorit, der Mond Enceladus 33 Stunden, also dreimal soviel Zeit als der Meteorit. Bilden also heute „Saturnmitte - Meteorit - Mimas - Enceladus" eine gerade Linie, so bilden sie diese selbe Gerade auch nach etwa 66 Stunden, da in dieser Zeit der Meteorit 6, Mimas etwa 3 und Enceladus 2 volle Umläufe beschreiben. Alle 66 Stunden „in alle Ewigkeit" würde also der winzige Meteorit dieselbe Störung erfahren. Die vielen kleinen gleichen Einflüsse müssen sich notwendigerweise zu einer großen Wirkung summieren, als deren Resultat ein Verschwinden aus der dunkeln Ringlinie erklärlich ist. So sind auch andere Ringteilungen zu erklären, als ob sie infolge der in kleinen Zahlen ausdrückbaren Verhältnisse der Umlaufszeiten der Monde „weggefegt" wären. — Zwei Zahlen, die mit

einem relativ großen Vergleichsmaß gemessen werden können, wie z. B. 10 und 25, die beide 5 als Maß haben, nennen wir kommensurabel, solche Zahlenpaare jedoch, die kein noch so kleines gemeinsames Maß enthalten, maßfremd oder inkommensurabel. Die Lücken im Saturnring werden also, ebenso wie die Lücken im Schwarm der Kleinplaneten, durch die Kommensurabilität der entsprechenden Umlaufszeiten erklärt.

(16) Inkommensurabilität im Planetensystem. Zwei Saturnumläufe dauern etwa so lang, wie 5 Jupiterumläufe, ebenso besteht eine Anzahl weiterer Gleichungen, wenn auch nur ganz ungefähr: 8 Erdumläufe = 13 Venusumläufe, 4 Merkurumläufe = 1 Erdumlauf, 1 Marsumlauf = 2 Erdumläufe, 2 Venusumläufe = 5 Merkurumläufe, 3 Venusumläufe = 1 Marsumlauf, 3 Saturnumläufe = 1 Uranusumlauf. Die Zusammenhänge können auf Grund der Planetentafeln geprüft werden. Die Theorie zeigt, daß infolge dieser Kommensurabilitäten in den Umlaufszeiten sonnenzentrische Planetenkonjunktionen, an gleichen Punkten der Bahn sich regelmäßig wiederholen. Da aber diese Kommensurabilität keine genaue ist, also bei genauem Zusehen doch nur von einer durchgehenden Inkommensurabilität im Planetensystem gesprochen werden muß, zeigen sich allmählich Veränderungen. Es laufen z. B. die Punkte der Konjunktionen langsam um.

(17) Stabilitätsproblem. Daß unsere Erde von solchen säkularen Störungen nicht verschont geblieben ist und noch weiter in ihren Bahnelementen verändert wird, ist selbstverständlich. Die Neigung der Erdbahn kann auf eine „invariable Ebene" bezogen werden, an die alle Planetenbahnen sich tunlichst anschmiegen, und die gleichsam als eine Art Symmetrieebene hinsichtlich der Bahn- und der Massenverteilungen angesehen werden kann. Diese Ebene bleibt erhalten ohne Rücksicht auf das Schwanken der verschiedenen Planetenbahnebenen. — Außer säkularen Schwankungen der Neigung wollen wir noch die säkularen Änderungen der Exzentrizität der Bahnen erwähnen. Die Leverrierschen Kurven in Bild 203 zeigen, daß sich bezüglich der heutigen Bahn der Erde — einer „Neigung gleich Null" entsprechend — deren Neigung innerhalb von 200 000 Jahren zwischen 0 und 4 Grad bewegt, und daß die numerische Exzentrizität der Erdbahn innerhalb desselben Zeitraums im allgemeinen eine Abnahme zeigt, die aber für größere Zeiträume sich wieder ausgleicht.

Auch andere Elemente der Erde und alle Elemente sämtlicher Planeten zeigen säkulare Veränderungen, jedoch derart, daß unser Planetensystem seine „innere Struktur" nicht aufzugeben braucht. Es

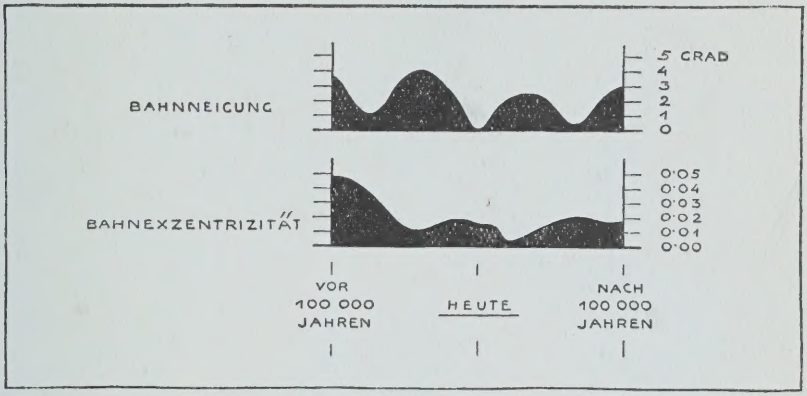
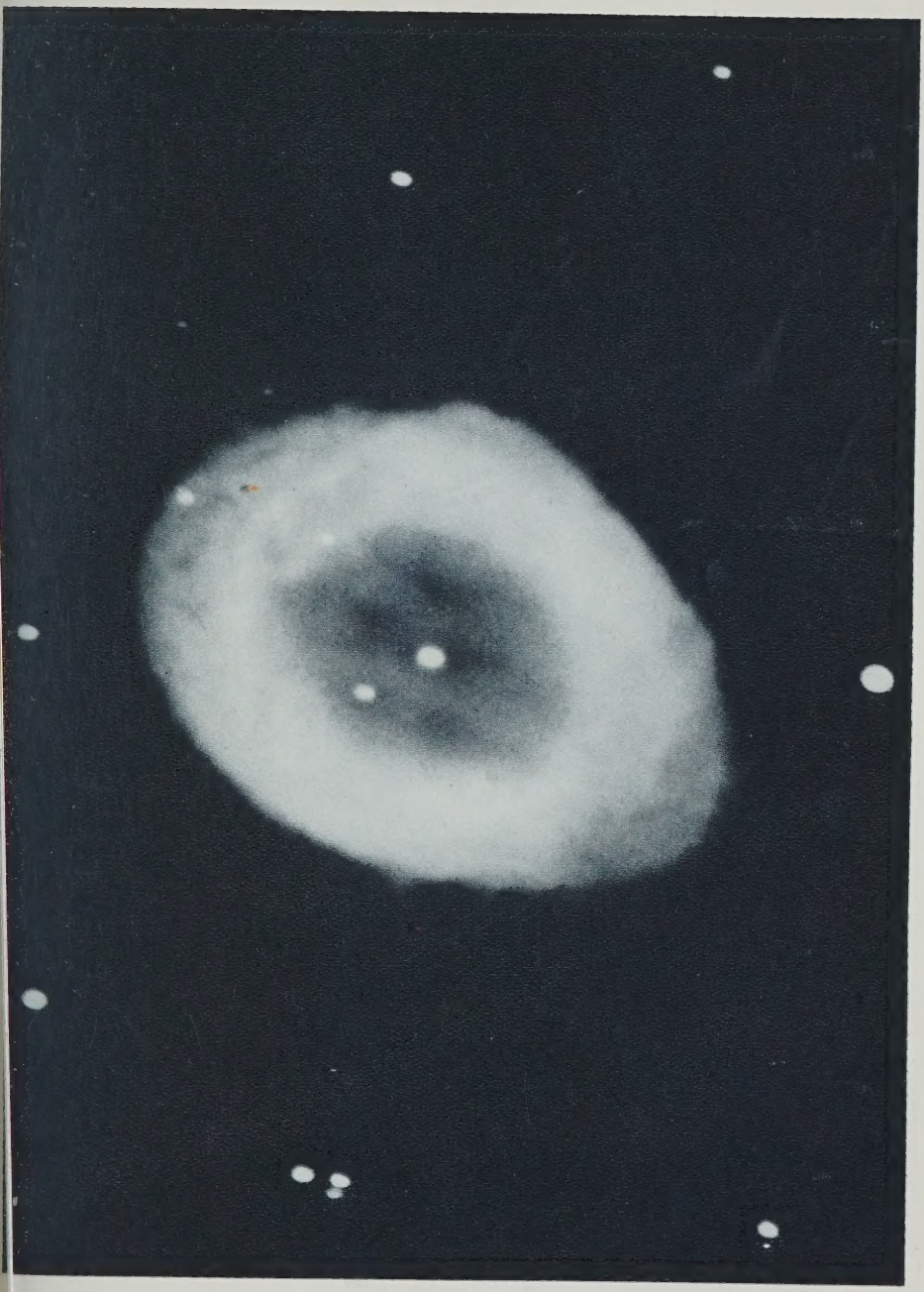


Bild 203. Änderung der Erdbahnneigung und der Erdbahnexzentrizität

führt nur relativ kleine Schwankungen um einen mittleren Zustand aus, insbesondere zeigen die großen Achsen der Planetenbahnen und die Umlaufszeiten nur vorübergehende Änderungen ihrer Beträge. Es ist diese Feststellung das vorläufige Ergebnis der Untersuchungen, die als Laplacesches Stabilitätsproblem bezeichnet werden.



Ringnebel in der Leier (Mount Wilsonsternwarte)

Sternwolke im Schwan (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl)

TAFEL XXIII

ZEHNTER ABSCHNITT
PLANETENTAFELN

Bahntafel I / Bahntafel II / Durchmessertafel / Physische Planetentafel / Jupitermondtafel / Saturnmondtafel

Die folgenden sechs Tafeln beziehen sich auf die großen Planeten und die Monde Jupiters und Saturns. Die auf Pluto bezüglichen Daten sind, soweit sie zuverlässig bekannt, auf Seite 258 nachzusehen. — Für die Länge der astronomischen Einheit kann 149,4 Millionen Kilometer als bester Wert gelten. Die Zahl „150 Millionen" bedeutet demnach eine nur methodisch zu rechtfertigende Abrundung.

(1) BAHN-

	Merkur	Venus	Erde
Mittlere Entfernung von der Sonne (in km)	58 000 000	108 000 000	149 400 000
mittlere Entfernung von der Sonne (in a. E.)	0,39	0,72	1,00
kleinste Entfernung von der Sonne (in a. E.)	0,31	0,72	0,98
größte Entfernung von der Sonne (in a. E.)	0,47	0,73	1,02
kleinste Entfernung von der Erde (in a. E.)	0,53	0,27	—
größte Entfernung von der Erde (in a. E.)	1,47	1,73	—
mittlere Entfernung von der Sonne im planetaren Maßstab	(58 m)	(108 m)	(149 m)
mittlere Entfernung von der Sonne im stellaren Maßstab	(0,06 mm)	(0,11 mm)	(0,15 mm)
lineare Exzentrizität (in a. E.)	0,08	0,00	0,02
numerische Exzentrizität	0,21	0,01	0,02
Lichtzeit f. d. kleinste Entfernung Sonne-Planet	$2^m\,34^s$	$6^m\,00^s$	$8^m\,13^s$
Lichtzeit f. d. größte Entfernung Sonne-Planet	$3^m\,54^s$	$6^m\,05^s$	$8^m\,30^s$

(Plutodaten: III. Teil,

TAFEL I

Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
228 000 000	778 000 000	1 430 000 000	2 870 000 000	4 490 000 000
1,52	5,20	9,54	19,19	30,07
1,38	4,95	9,01	18,29	29,79
1,67	5,45	10,37	20,07	30,33
0,38	3,95	8,00	17,29	28,80
2,67	6,45	11,07	21,07	31,31
(228 m)	(778 m)	(1,4 km)	(2,9 km)	(4,5 km)
(0,23 mm)	(0,78 mm)	(1,4 mm)	(2,9 mm)	(4,5 mm)
0,14 0,09	0,25 0,05	0,53 0,06	0,89 0,05	0,27 0,01
$11^m\ 33^s$	41^m	$1^h\ 15^m$	$2^h\ 33^m$	$4^h\ 09^m$
$13^m\ 56^s$	46^m	$1^h\ 27^m$	$2^h\ 48^m$	$4^h\ 14^m$

1. Abschnitt, 8. Kapitel)

(2) BAHN-

	Merkur	Venus	Erde
Siderischer Umlauf in Jahren	0,24	0,62	1,00
siderischer Umlauf in Tagen	87,969	224,701	365,256
tropischer Umlauf in Tagen	87,968	224,695	365,242
Unterschied „siderisch-tropisch" in Tagen	0,001	0,005	0,014
synodischer Umlauf	$0^a\ 116^d$	$1^a\ 219^d$	—
synodischer Umlauf in Tagen	116	584	—
Umfang der Bahn in Millionen Kilometern	360	680	940
mittlere Umlaufsgeschwindigkeit (Kilometer je Sekunde)	48	35	30
sonnenzentrische Länge des Perihels 1900	76^0	131^0	102^0
Neigung der Bahn gegen die Ekliptik	$7^0\ 00'$	$3^0\ 24'$	$0^0\ 00'$

(Plutodaten: III. Teil.

TAFEL II

Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
1,88	11,86	29,46	84,02	164,78
686,98	4333	10 759	30 686	60 187
686,93	4331	10 747	30 589	59 805
0,05	2	12	97	382
2^a 49^d	1^a 34^d	1^a 13^d	1^a 4^d	1^a 2^d
780	399	378	369	367
1400	4900	8900	18 000	28 000
24	13	10	7	5
335^0	13^0	92^0	170^0	44^0
1^0 51′	1^0 18′	2^0 30′	0^0 46′	1^0 47′

1. Abschnitt, 8. Kapitel)

(3) DURCHMESSER-

	Merkur	Venus	Erde
Mittlerer sonnenzentrischer Winkel des Durchmessers	17″	23″	18″
größter erdzentrischer Winkel des Durchmessers	13″	64″	—
kleinster erdzentrischer Winkel des Durchmessers	5″	10″	—
Durchmesser in Kilometern	4800	12 200	12 800
Durchmesser im planetaren Maßstab	(5 mm)	(12 mm)	(13 mm)
Äquatordurchmesser in Erddurchmessern	0,38	0,98	1,00
Oberfläche in Erdoberflächen	0,14	0,91	1,00
Inhalt in Erdinhalten	0,06	0,88	1,00

(Plutodaten: III. Teil,

TAFEL

Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
6″	38″	17″	4″	3″
25″	50″	21″	4″	2″
4″	31″	15″	3″	2″
6800	143 000	121 000	50 000	53 000
(7 mm)	(14 cm)	(12 cm)	(5 cm)	(5,3 cm)
0,53	11,2	9,5	3,9	4,2
0,28	120	84	15	17
0,15	1300	760	60	70

1. Abschnitt, 8. Kapitel)

(4) PHYSISCHE

	Merkur	Venus	Erde
Masse in Sonnenmassen	$\frac{1}{8\,000\,000}$ (?)	$\frac{1}{408\,000}$	$\frac{1}{332\,000}$
Masse in Erdmassen	0,04 (?)	0,82	1,00
Gewicht der Masse 1 kg auf der Oberfläche	0,3 kg (?)	0,9 kg	1,0 kg
Fallhöhe in der 1. Sekunde auf der Oberfläche	2,0 m (?)	4,4 m	4,9 m
Dichte (Wasser = 1)	3,7	5,2	5,5
Dichte (Erde = 1)	0,68	0,94	1,00
Rotationsdauer (siderisch)	(?)	(?)	$23{,}9^{h}$
Albedo in Prozenten	7	59	—
Anzahl der Monde	0	0	1
Abplattung	0	0	$\frac{1}{296}$
Entweichgeschwindigkeit (Kilometer je Sekunde)	4	10	11

(Plutodaten: III. Teil,

PLANETENTAFEL

Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
$\frac{1}{3\,100\,000}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{3500}$	$\frac{1}{23\,000}$	$\frac{1}{20\,000}$
0,11	317,0	94,8	16,4	17,0
0,4 kg	2,6 kg	1,1 kg	0,9 kg	1,1 kg
2,0 m	12,7 m	5,4 m	4,4 m	5,4 m
4,0	1,3	0,7	1,4	1,3
0,71	0,24	0,12	0,25	0,24
$24{,}6^h$	$9{,}8^h$	$10{,}2^h$	$10{,}8^h$	$16{,}0^h$ (?)
15	56	63	63	73
2	9	10	4	1
$\frac{1}{192}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{40}$ (?)
5	60	36	21	23

1. Abschnitt, 8. Kapitel)

(5) JUPITERMONDTAFEL

Mond	Siderischer Umlauf	Helligkeit in Sterngrößen bei Opposition	Durchmesser	
			km	im planetaren Maßstab
V	11h 57m	13	160 (?)	(0,2 mm)
I	1d 18 28	6	3700	(4 mm)
II	3 13 14	6	3200	(3 mm)
III	7 03 43	5	5200	(5 mm)
IV	16 16 32	6	5200	(5 mm)
VI	251 Tage	14	130 (?)	(0,13 mm)
VII	260 „	16	40 (?)	(0,04 mm)
VIII	739 „	16	25 (?)	(0,03 mm)
IX	745 „	18	25 (?)	(0,03 mm)

Mond	Entfernung vom Jupiterzentrum			Numerische Exzentrizität	Bahnneigung gegen die Jupiterbahn
	km	im planetaren Maßstab	in Jupiterhalbmessern		
V	180 000	(18 cm)	2½	0,003	3°
I	420 000	(42 cm)	6	0,000	3
II	670 000	(67 cm)	9	0,000	3
III	1 070 000	(1,07 m)	15	0,001	3
IV	1 880 000	(1,88 m)	26	0,007	3
VI	11 000 000	(11 m)	160	0,16	29
VII	12 000 000	(12 m)	170	0,21	28
VIII	23 000 000	(23 m)	330	0,38	148
IX	24 000 000	(24 m)	350	0,25	156°

(6) SATURNMONDTAFEL

Mond	Name	Siderischer Umlauf	Helligkeit in Sterngrößen bei Opposition	Durchmesser	
				in km	im planetaren Maßstab
I	Mimas	$0{,}9^d = 0^d\ 23^h$	12	650 (?)	(0,7 mm)
II	Enceladus	$1{,}4 = 1\ 09$	12	800 (?)	(0,8 mm)
III	Tethys	$1{,}9 = 1\ 21$	10	1300 (?)	(1,3 mm)
IV	Dione	$2{,}7 = 2\ 18$	10	1200 (?)	(1,2 mm)
V	Rhea	$4{,}5^d = 4^d\ 12^h$	10	1800 (?)	(1,8 mm)
VI	Titan	$16{,}0^d$	8	4200	(4,2 mm)
X	Themis	20,9	17		
VII	Hyperion	21,3	13	500 (?)	(0,5 mm)
VIII	Japetus	79,3	11	1800 (?)	(1,8 mm)
IX	Phöbe	$550{,}5^d$	15	250 (?)	(0,3 mm)

Mond	Entfernung vom Saturnzentrum			Numerische Exzentrizität	Bahnneigung gegen die Saturnbahn
	km	im planetaren Maßstab	in Saturnhalbmessern		
I	186 000	(19 cm)	3,1	0,02	27^0
II	238 000	(24 cm)	3,9	0,00	27
III	295 000	(30 cm)	4,9	0,00	27
IV	377 000	(38 cm)	6,2	0,00	27
V	527 000	(53 cm)	8,7	0,00	27
VI	1 220 000	(1,2 m)	20,2	0,03	27
X	1 460 000	(1,5 m)	24,2	0,23	39
VII	1 480 000	(1,5 m)	24,5	0,10	26
VIII	3 560 000	(3,6 m)	58,9	0,03	16
IX	12 900 000	(12,9 m)	214,4	0,17	175^0

VIERTER TEIL
Astronomie des Sternenalls

ERSTER ABSCHNITT

STERNE AN DER HIMMELSKUGEL

Stellare Objekte / Sterne 1. bis 6. Größe / Psychophysisches Grundgesetz / Additives und multiplikatives Zählen / Sterngrößen „— 39" bis „+ 61" / Systeme der Sterngrößen / Farbe und Farbenindex / Anzahl der frei sichtbaren Sterne / Anzahl der teleskopischen Sterne / Sterndichte / Spektrale Einteilung / Kennzeichen der Harvardtypen / Spektraltyp und Farbenindex

(1) Stellare Objekte. Im ersten, sphärischen Teil unseres Buches waren Sonne, Mond und Planeten und Sterne flächenhafte oder punkthafte Gebilde. Über Entfernungen machten wir uns zunächst grundsätzlich keinerlei Gedanken. Die Objekte waren an der Himmelskugel zerstreut, deren Halbmesser beliebig groß oder beliebig klein angenommen wurde, oder „unendlich" groß, jedenfalls nicht näher bestimmt war. Inzwischen gingen wir „in den Raum hinaus". Im zweiten, tellurischen Teil maßen wir die räumliche Ausdehnung der Erde, im dritten die räumlichen Verhältnisse des Sonnensystems und nun schreiten wir ins noch größere Sternenall hinaus. Doch machen wir in diesem ersten Abschnitt noch einmal ausgiebig Halt, betrachten noch einmal die Himmelskugel als solche, wie ganz am Anfang, und halten, diesmal mit allen neuzeitlichen optischen Mitteln und allen physikalischen Hilfsmitteln ausgestattet, unter den Sternen Umschau, ohne uns auch jetzt vorläufig noch um Entfernungen zu kümmern. — Was wir so erkennen können, sind zunächst nicht nur Sterne erster bis sechster Größe, Fernrohr und Photographie zeigen uns auch Sterne bis zur einundzwanzigsten Größenklasse „herab". Wir können die Zahl der Sterne jeder Größenklasse zählen oder zum mindesten schätzen. Wir können die Sterne aber nicht nur nach ihrer Zugehörigkeit zu einer bestimmten Größenklasse, sondern auch nach verschiedenen anderen Gesichtspunkten einteilen, je nachdem uns z. B. ihre Farbe oder ihr Spektrum interessiert. Wir finden des weiteren, ganz abgesehen von der vielgestaltigen Milchstraße, daß es Gegenden gibt, in denen die Sterne besonders dicht gedrängt er-

scheinen, dann wieder ausgesprochene Sternleeren. Wir kennen offene wie gedrängte Sternhaufen, auch insbesondere ganz kugelförmige, dann nebelähnliche Gebilde, unregelmäßige und auch derart rundliche, daß sie an das Aussehen der Planeten erinnern und planetarische Nebel heißen, schließlich elliptische oder spindel- und spiralförmige Objekte, die, auch weiße Nebel genannt, mitunter eng vereinigt Nebelhaufen bilden, die sich wieder zu größeren Komplexen zusammenschließen.

(2) Sterne 1. bis 6. Größe. Das freie Auge erkennt Sterne 1. bis 5., auch noch 6. Größe. Innerhalb dieser vollständigen Stufen werden Zehntel und Hundertstel derselben eingeschaltet, für die feinsten Registrierungen auch Tausendstel. — Es hat den Anschein, als ob ein Stern einer beliebigen Klasse immer dieselbe Menge Lichts mehr ausstrahle als ein Stern der unmittelbar benachbarten schwächeren Klasse und daß diese Regel bei allen Klassen gelte, so daß die Differenz der in unserem Auge oder auf der Platte eintreffenden Lichtmengen von ganzer Klasse zu ganzer Klasse konstant ist. Untersuchungen, die dem vom Stern ausgehenden Lichtstrom gelten, haben jedoch deutlich gezeigt, daß sich bei Übergängen von Klasse zu Klasse nicht die Differenz der Helligkeiten gleich bleibt, sondern der Quotient dieser Helligkeiten, so daß ein Stern z. B. 4. Größe 2½mal mehr Licht auf die Platte sendet als ein Stern 5. Größe. Ebenso leuchtet für uns ein Stern 2. Größe meßbar 2½mal heller, als ein Stern 3. Größe usw. Dies sagt über die wirkliche Leuchtkraft eines Sternes oder etwa über dessen Durchmesser nichts aus. Es handelt sich nur um die scheinbaren Helligkeiten oder scheinbaren Sterngrößen. So ist ein Stern

5.	Größe	2½mal	heller	als	ein	Stern	6.	Größe	
4.	„	2½	„	„	„	„	5.	„	
3.	„	2½	„	„	„	„	4.	„	
2.	„	2½	„	„	„	„	3.	„	
1.	„	2½	„	„	„	„	2.	„	
0.	„	2½	„	„	„	„	1.	„	
-1.	„	2½	„	„	„	„	0.	„	
-2.	„	2½	„	„	„	„	-1.	„	usw.

Wir haben hier die Reihe über 1 hinaus verlängert: durch 0, -1, -2. Es ist uns ja bekannt, daß einige Sterne, die wir dem gewöhn-

lichen Sprachgebrauch zuliebe als Sterne „erster Größe" bezeichneten, in Wirklichkeit nullter bis minus zweiter sind. Wega und andere sind nullter, Kanopus ist -1., Sirius -2. Größe. Die Sonne bekam Helligkeit -26,7. Beschränken wir uns, nur um die Erklärungen einfacher zu gestalten, auf die Klassen genau 1 bis 6, so ist ein Stern

5. Größe $2\frac{1}{2}$mal
4. Größe $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$mal
3. Größe $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$mal
2. Größe $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$mal
1. Größe $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$mal

heller als ein Stern 6. Größe.

(3) Psychophysisches Grundgesetz. Es ist

$2\frac{1}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 2{,}5$
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots = 6{,}3$
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \ldots\ldots\ldots = 15{,}8$
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \ldots\ldots = 39{,}8$
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \ldots\ldots = 100$

So haben, wenn ein Stern 6. Größe so hell leuchtet, wie eine Einheitskerze in entsprechender Entfernung von uns hingestellt, 6 Sterne 6. bis 1. Größe folgende scheinbare Leuchtkraft:

1 2,5 6,3 15,8 39,8 100 Kerzen.

Wir machen einen Gedankenversuch, den man tatsächlich durchführen könnte (Bild 204). Wir stellen auf freiem Feld 6 Glühlampen auf, deren Helligkeiten durch Verwendung geeigneter Stromwiderstände auf die eben angeschriebenen Kerzenstärken gebracht werden. Dann stellen wir uns so weit von dieser Lampenreihe entfernt auf, daß uns die hellste, hundertkerzige, so hell erscheint, wie ein Stern 1. Größe, sagen wir wie Spika. Wir können uns dann überzeugen, daß die anderen, schwächeren Lampen uns genau so hell erscheinen, wie Sterne 2. bis 6. Größe. Wir sprechen von relativen Leuchtkräften oder relativen Intensitäten und sagen z. B., daß die relativen Leuchtkräfte zweier Sterne 5. und 4. Größe 2,5 und 6,3 betragen, wenn die Helligkeit eines Sternes 6. Größe gleich Eins gesetzt wird. Ein objektiver Beobachter, der, ohne etwas von der Art und der Anordnung unseres optischen Versuches zu wissen, als Gast unser abendliches Versuchsfeld betritt, wird nach dem ersten persönlichen Eindruck, den

der Lichterglanz in seinem Empfinden erweckt, überzeugt sein, daß bei den aufeinander folgenden Lampen — oder Sternen — die Leuchtkraft von Lampe zu Lampe oder von Stern zu Stern additiv wächst. Der Versuch aber und die daran geknüpfte Rechnung belehren uns, daß der Anstieg tatsächlich multiplikativ erfolgt.

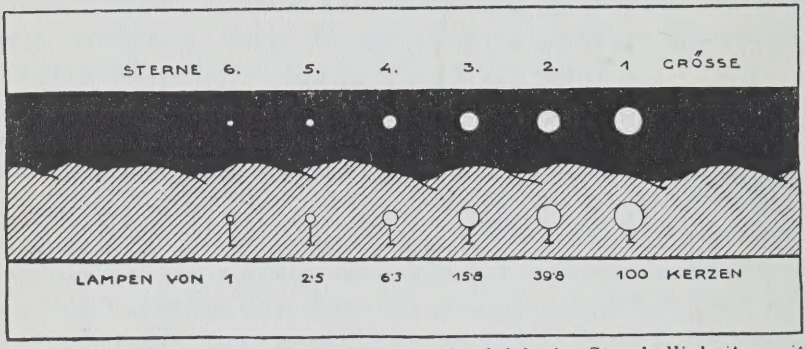


Bild 204. Psychophysisches Grundgesetz: Vergleich der Sternhelligkeiten mit denen verschiedener elektrischer Lampen. Ein Gedankenversuch

Dies ist im wesentlichen der Inhalt des psychophysischen Grundgesetzes der Optik, das so ausgesprochen werden kann: Wächst der objektive Lichtreiz multiplikativ, so wächst der subjektive Lichteindruck gleichzeitig nur additiv. Das psychophysische Grundgesetz gilt ganz allgemein. Der Faktor 2½ ist übrigens, mehr oder weniger willkürlich, etwas zu verändern. Hält man aber, was allgemein geschieht, an den beiden Zahlen 1 und 100 obiger Reihe fest, dann muß statt 2,5 als genauerer Faktor 2,5119 gesetzt werden, denn nur diese Zahl gibt, fünfmal mit sich selbst multipliziert, genau 100. Will man die Lichtmenge wissen, die z. B. während einer Minute die photographische Platte von irgend einem Stern beliebiger Größenklasse zugestrahlt erhält, so kann folgende Regel gelten: Wird die von einem Stern 6. Größe auf eine Platte gestrahlte Lichtmenge als Einheit genommen, so erhält man die von einem anderen Stern beliebiger Klasse eingefangene Lichtmenge, indem man 2,5119 sovielmal mit sich selbst multipliziert, als die um die Größenklasse verminderte Zahl 6 angibt.

(4) Additives und multiplikatives Zählen. Das psychophysische Grundgesetz ist durch eine mehr als zweitausendjährige Geschichte bestätigt, denn schon so lange besteht die Ein-

teilung der Sterne bezüglich ihrer Helligkeit nach additivem Schema, ohne Rücksicht auf das multiplikative Schema der Natur. Bei Betrachtungen und Beobachtungen des Sternenhimmels müssen wir uns dieses Zusammenhanges stets bewußt bleiben und es ist auch sonst in der astronomischen Wissenschaft von Vorteil, mitunter statt des gewöhnlichen Zählens, wie

1, 2, 3, 4, 5 usw. oder
2, 4, 6, 8, 10 usw. oder
1000, 2000, 3000, 4000, 5000 usw.,

was wir additives Zählen nennen wollen, sich auch im multiplikativen Zählen eine gewisse Sicherheit anzueignen. Multiplikative Reihen sind so z. B. die folgenden:

2, 4, 8, 16, 32, ... (Faktor 2)
2,5, 6,3, 15,8, 39,8, 100, ... (Faktor 2½)
1, 10, 100, 1000, 10 000, ... (Faktor 10).

(5) Sterngrößen „-39" bis „+61". Sterngrößen „-12,6" und „-26,7" hellster Objekte kennen wir schon, es sind die von Vollmond und Sonne. Die größten Fernrohre und photographischen Vorrichtungen mit ihrer Fähigkeit, Licht zu konzentrieren und zu summieren, offenbaren uns schwache und schwächste Sterne 7., 8., 9. bis zur 21. Größe. Je größer die Zahl ist, die die Sterngröße bezeichnet, desto schwächer ist das Objekt. Negatives Vorzeichen bedeutet sehr helle, positives schwächere und schwächste Sterne. Das Pluszeichen wird weggelassen, wenn die positive Natur einer Zahl selbstverständlich ist. — Wir wissen nicht, welche schwache Helligkeiten in später Zukunft noch erreichbar, d. h. meßbar sein werden, doch erwähnen wir oft Sterne, auf deren Vorhandensein wir indirekt schließen und zu schließen volle Berechtigung haben, z. B. wenn wir von unsichtbaren schwächsten Sternen in den fernsten Spiralnebeln sprechen, deren Helligkeit, auf eine „ideale" photographische Platte gezaubert, bedeutend unter der Grenze „21" wäre. Wir erweitern deshalb, einem allgemeinen Schema zulieb, das Gebiet der Sterngrößen beliebig bis zu der Grenze „+61" und gleichzeitig auch „nach der hellen Seite" bis „-39" und zeigen, welches ihre multiplikativ aufeinanderfolgenden relativen Leuchtkräfte oder Intensitäten sind. Geben wir einem Stern 1. Größe die „relative Leuchtkraft Eins", so haben die in den zwei Tabellen aufgezählten Größen-

klassen die neben der betreffenden Sterngröße angeführte relative Leuchtkraft. Die Tafel I gilt für die Klassen „- 39“ bis „+ 61“. In ihr ist nur jede 5. Klasse angeführt. Unmittelbar neben der Spalte der Helligkeitsklasse sind Beispiele für die betreffende Klasse angegeben, daneben die relative Leuchtkraft, die diesen Größenklassen entspricht, alles bezogen auf die Helligkeit eines Normalsternes 1. Klasse als Einheit. Tafel II umfaßt das in der ersten Tafel kräftig eingerahmte Gebiet und gibt die relativen Leuchtkräfte für alle einzelnen Klassen 1. bis 21. Größe.

Tafel I der relativen Leuchtkräfte

Größenklasse	Beispiele	Relative Leuchtkraft der Größenklasse, bezogen auf die relative Leuchtkraft eines Sternes erster Klasse
—39		10 000 Billionen
—34		100 Billionen
—29	Sonne = - 26,72	1 Billion
—24		10 000 Millionen
—19		100 Millionen
—14	Vollmond = - 12,6	1 Million
— 9		10 000
— 4	Venus im größten Glanz	100
1	Atair	1
6		1 hundertstel
11		1 zehntausendstel
16		1 milliontel
21	schwächster teleskopischer Stern	1 hundertmilliontel
26		1 zehntausendmilliontel
31		1 billiontel
36		1 hundertbilliontel
41		1 zehntausendbilliontel
46		1 trilliontel
51		1 hunderttrilliontel
56		1 zehntausendtrilliontel
61		1 quadrilliontel

Tafel II der relativen Leuchtkräfte

Größenklasse	Relative Leuchtkraft	Größenklasse	Relative Leuchtkraft
1	1	11	0,000 1
2	0,40	12	0,000 040
3	0,16	13	0,000 016
4	0,063	14	0,000 006 3
5	0,025	15	0,000 002 5
6	0,01	16	0,000 001
7	0,004 0	17	0,000 000 40
8	0,001 6	18	0,000 000 16
9	0,000 63	19	0,000 000 063
10	0,000 25	20	0,000 000 025
11	0,000 1	21	0,000 000 01

(6) Systeme der Sterngrößen. Die Sterngrößen sind nach dem Bisherigen grundsätzlich definiert. Wir ließen allerdings die Frage offen, ob Auge und photographische Platte in ebenderselben Weise die etwa in einer Sekunde einströmende Lichtmenge zu registrieren vermögen. Dies muß zunächst verneint werden. Von den verschiedenen uns bekannten Lichtsorten, die wir nebeneinander ausgebreitet am besten im Spektrum beobachten können, offenbart uns nach dem im Sonnenabschnitt Gesagten das Auge die Farben von Rot bis Violett, besonders gut den Teil um das spektrale Gelb herum, die gewöhnlich angewandte photographische Platte am besten die violetten und ultravioletten Teile des Lichtes, eine mit Gelbfilter versehene Platte wieder die ähnlichen, wenn auch nicht gleichen Farbengebiete wie unser Auge, das Bolometer endlich und Radiomikrometer und ähnliche energiemessende Apparate das „ganze" Spektrum mit allen seinen Strahlenarten. Den jeweiligen Beobachtungsmethoden entsprechend unterscheidet man deshalb verschiedene Arten von Sterngrößen, z. B. die folgenden vier Arten:

visuelle Sterngröße (Auge),
photographische Sterngröße (Platte),
photovisuelle Sterngröße (Platte mit Gelbfilter),
bolometrische Sterngröße (Bolometer).

(7) Farbe und Farbenindex. In großen Sternkatalogen wird das photographische System bevorzugt. Im Gebiet der mit freiem Auge sichtbaren Sterne ist die Beibehaltung des ursprünglichen visuellen wieder vorteilhafter. Zur Umstellung eines Systems in ein anderes hat man die Unterschiede verschiedenartig gemessener Sterngrößen besonders benannt, z. B.

photographische minus visuelle Größe = „Farbenindex",
visuelle minus bolometrische Größe = „Wärmeindex".

Der Farbenindex leistet dort unentbehrliche Dienste, wo die Aufnahme eines Spektrums wegen zu geringer Helligkeit eines Objektes versagt, da der Farbenindex in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Spektrum steht. Ein roter Stern, also ein solcher, der über weniger violette Strahlen verfügt, wird in der Photographie schwächer, erhält also zur Charakteristik eine Klassenzahl, die größer ist als die visuell festgelegte Zahl. Ein durchaus weißer Stern, der einen Stich ins Bläuliche zeigt, der also über viel violette und unsichtbare ultraviolette

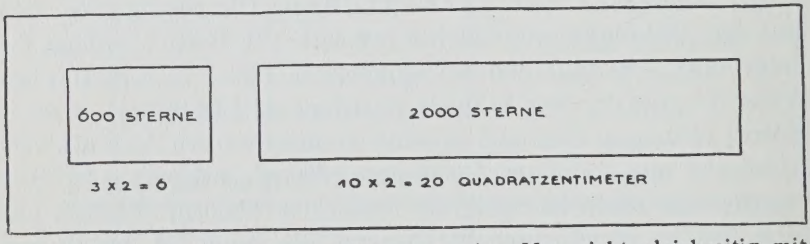


Bild 205. Zwei Rechtecke aus Millimeterpapier. Man sieht gleichzeitig mit freiem Auge nur soviel Sterne bis zur 5. oder 6. Größe, als die beiden Blätter Quadratmillimeter enthalten.

Strahlen verfügt, erscheint in der Photographie heller, erhält also eine Klassenzahl, die kleiner ist als die visuell erhaltene. Es ist also im ersten Fall bei roten Sternen der Farbenindex „photographisch minus visuell" positiv, im zweiten Fall, bei „blauen", negativ. Ein Merkwort wird kaum großen Schaden anrichten: „Rot, positiv, zweimal o." — Ein sogenannter blauer Stern ist z. B. Wega, rote Sterne sind Antares, der Granatstern im Kepheus u. a. — Es gibt eine Skala, die außer der Bezeichnung „Weiß" noch zehn Sternfarben festlegt. Die folgende Tabelle gibt die entsprechenden Farbstufen, wie deren Farbton und Beispiele für diese „kolorimetrischen Stufen", die mit dem Buchstaben c bezeichnet werden.

Farbenskala (0^c = weiß)

1^c	gelblichweiß	Rigel	6^c	rötlichgelb	Aldebaran
2	weißgelb	Deneb	7	orange	Antares
3	blaßgelb	Kapella	8	gelblichrot	Granatstern
4	reingelb	Polarstern	9	rot	—
5^c	dunkelgelb	Dubhe	10^c	purpur	—

(8) Anzahl der frei sichtbaren Sterne. Nach einer zuverlässigen Zählung, die sich auf die Himmelskugel Nord wie Süd erstreckt, gibt es, nach visuellen Größenklassen geschieden, bis einschließlich der

Sterngröße	1,0	. . . 12	Sterne
„	2,0	. . . 39	„
„	3,0	. . . 105	„
„	4,0	. . . 445	„
„	5,0	. . . 1460	„
„	6,0	. . . 4720	„

Die Statistik auf Grund photographischer Helligkeitsangaben ergibt ein anderes Bild. Mit freiem Auge können wir also, Nord- und Südhalbkugel des Himmels zusammengenommen, rund 5000 Sterne bis zur 6. Größe wahrnehmen. Durchstechen wir mit einer Nadel

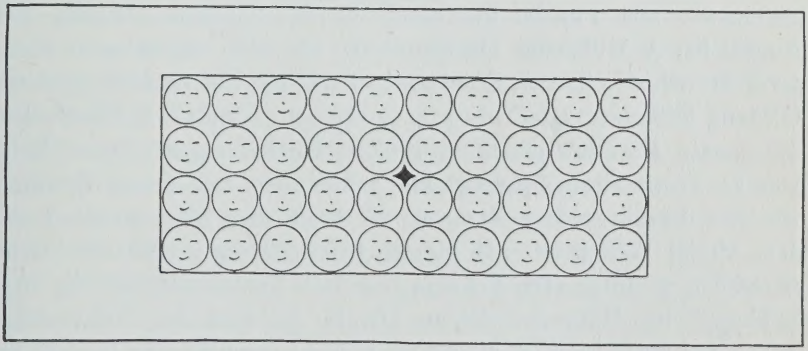


Bild 206. Auf eine Fläche von 10 Quadratgraden entfällt durchschnittlich nur ein mit freiem Auge sichtbarer Stern.

jedes Quadratmillimeter eines 2 Zentimeter breiten und 25 Zentimeter langen Streifens Millimeterpapier, so vergegenwärtigt uns dieses

Sieb — wir dürfen es auch gegen das Licht halten — die Gesamtzahl aller Sterne, die man mit freiem Auge überhaupt wahrnehmen könnte. — Über dem Horizont stehen somit gleichzeitig 2500 Sterne. Ziehen wir ein Fünftel davon als durch den Dunst oder Objekte des Horizontes in der Regel unsichtbar gemacht ab, so verbleiben insgesamt 2000 Sterne. — Mit Ausschluß der Sterne 6. Größe finden wir: ganzer Himmel rund 1500, über dem Horizont also 750. Ein Fünftel hievon wegen der Horizonthindernisse ab, ergibt 600 Sterne, also so viel, als 6 Quadratzentimeter obigen Siebes Löcher hat. — Da eine Himmelshalbkugel 20 000 Quadratgrad faßt, kommt selbst wenn wir auch die Sterne 6. Größe miteinbeziehen, nur ein Stern auf 10 Quadratgrad oder 40 Vollmondquadrate (Bild 205, 206).

(9) Anzahl der teleskopischen Sterne. Die Anzahl der innerhalb eines begrenzten Himmelsstückes mit freiem Auge sichtbaren Sterne wächst schon nach Anwendung eines Opernguckers oder Feldstechers ganz bedeutend und geht im großen Fernrohr ins Ungeheure über, besonders wenn man dieses mit einer photographischen Platte versieht und lange exponiert. Bildtafel XXIII zeigt unzählbar viele Sterne. Die Palisa-Wolf-Karte (Bildtafel XVI), einer großen Sammlung ähnlicher Karten entnommen, zeichnet sich besonders auch durch die exakte Einzeichnung des Himmelsnetzes aus. — Das Auge kann als „einmal" vergrößerndes Fernrohr angesehen werden. Hier ist freilich ausnahmsweise „einmal" in Wirklichkeit „keinmal". Die Pupille, gleichsam die teleskopische Öffnung des Auges, hat 5 Millimeter Durchmesser. Sie kann uns alles in allem 5000 Sterne offenbaren. Ein kleines Fernrohr von fünfmal größerer Öffnung (Objektiv 2½ Zentimeter querdurch) könnte, auf alle Punkte des ganzen Himmels gerichtet, 100 000 Sterne zeigen. Einem Rohr von 25 Zentimetern Öffnung sind 5 Millionen, und einem Teleskop wie dem derzeit größten Fernrohr der Welt, dem Spiegelteleskop auf dem Mount Wilson mit 2½ Metern Durchmesser 1 Milliarde Sterne erreichbar, vorausgesetzt, daß man es auf alle Punkte, auch die der Südhalbkugel des Himmels, richten könnte. Es sind dies Erfahrungszahlen auf Grund von vielfältigen Stichproben an Stellen verschiedenen Sternreichtums. Man nennt dies „Sterneichung", doch sollte man richtiger von Himmelseichung sprechen. Katalogisiert ist bis heute mehr als eine Million verschiedener Sterne.

Sternanzahl

Photographische Sterngröße	Anzahl der Sterne bis zu einschließlich nebenstehender Sterngröße (Nord- und Südhalbkugel zusammen)	Verhältniszahl
4	410	
5	1 200	2,9
6	2 900	2,8
7	8 300	2,8
8	23 000	2,8
9	62 000	2,7
10	170 000	2,7
11	410 000	2,6
12	1 100 000	2,5
13	2 700 000	2,5
14	6 500 000	2,4
15	15 000 000	2,3
16	33 000 000	2,2
17	70 000 000	2,1
18	140 000 000	2,0
19	280 000 000	1,9
20	510 000 000	1,8
21	890 000 000	1.8

In der obigen Tabelle „Sternanzahl" gibt die erste Spalte die photographische Sterngröße, die zweite die Anzahl der Sterne bis zu einschließlich dieser Sterngröße und zwar für den ganzen Himmel. Dividieren wir eine Zahl in der zweiten Spalte durch die unmittelbar darüberstehende Zahl, so erhalten wir die Angaben der dritten Spalte. Sie besagen, wievielmal mehr Sterne es bis zu einschließlich der betreffenden Klasse gibt als ohne diese Klasse. Die Zahl 2,6 (7. Zeile der 3. Spalte) bedeutet, daß es 2,6mal soviel Sterne gibt bis einschließlich 11., als Sterne bis einschließlich 10. Größe. Diese Verhältniszahlen nehmen von etwa 3 bis 1,8 ab. Sie werden umso kleiner, zu je schwächeren Sternen wir vordringen. Für die Größenklassen 2, 3 und 4 wurden die Verhältniszahlen 3,3, 3,0 und 3,0 gefunden.

(10) Sterndichte. Unter Sterndichte verstehen wir die Sternanzahl je Quadratgrad. Es wird hiebei angegeben, bis zu

welcher Sterngröße einschließlich gezählt wurde. Schon dem freien Auge fällt eine Zunahme der Sterndichte von den Gegenden außerhalb der Milchstraße gegen die Milchstraße zu auf. Eine zuverlässige Statistik bietet die Tabelle „Sterndichte". Die Dichte wird sowohl im Milchstraßenäquator als auch in Gegenden um die Milchstraßenpole größer, wenn wir zu immer schwächeren Sternen vordringen. Dividieren wir eine Zahl der 2., 3. oder 4. Spalte durch die unmittelbar über ihr stehende, so finden wir für die hellen Sterne der obersten zwei Zeilen rund 8, für die untersten zwei Zeilen nur Zahlen zwischen 2 und 4. Für die Milchstraße wie für die Gegenden weit außerhalb derselben gilt also dasselbe Gesetz, wie für den ganzen Himmel, daß nämlich die Dichtenzunahme umso geringer wird, zu je schwächeren Sternen wir vordringen. Wichtig sind die als „galaktische Konzentration" bezeichneten Zahlen der letzten Spalte, die durch Division der in der 3. Spalte stehenden Zahlen durch die rechts daneben stehenden erhalten wurden. Sie zeigen, daß dies Verhältnis auf dem Weg von den Milchstraßenpolen zur Milchstraße selbst umso gewaltiger zunimmt, je schwächere Sterne wir in die Berechnung mit einbeziehen.

Sterndichte

Phot. Sternklasse	Sterndichte am ganzen Himmel	Sterndichte am Milchstraßenäquator	Sterndichte an den Milchstraßenpolen	Galaktische Konzentration
5,0	0,025	0,045	0,013	3,4
7,0	0,20	0,36	0,10	3,5
9,0	1,5	2,8	0,72	3,9
11,0	11	21	4,3	4,8
13,0	66	150	21	6,8
15,0	360	910	87	10
17,0	1 700	4 800	290	17
19,0	6 700	21 000	770	27
21,0	22 000	74 000	1 700	44

(11) Spektrale Einteilung. Die spektrale Untersuchung der Sterne und der Vergleich ihrer wenn auch relativ schwachen Spektren mit dem der Sonne liefert die stärkste Stütze für die An-

nahme, daß die Sterne nichts anderes als ferne Sonnen sind. An dieser Annahme zweifelt heute niemand. — Die Beschreibung des visuellen Teiles eines Sternspektrums ist im Grunde genommen zunächst eine Charakteristik der Farbe des betreffenden Sternes. Handelt es sich nicht um besondere Spektraluntersuchungen, so können nach den optischen Äußerungen der Sterne vier Gruppen von Sternspektren unterschieden werden, nämlich solche der weißen, der gelblichen, der rötlichen und der roten Sterne. Zur Kennzeichnung der photographischen Sternspektren hat man nur die Linien und das sonstige Aussehen des zwischen Grün und äußerstem Ultraviolett liegenden Spektralbereiches herangezogen und so sechs Spektralklassen B, A, F, G, K, M festgelegt, die jetzt als „Spektraltypen der Harvardskala" ausnahmslos in Geltung sind. Jede Klasse wird in Unterklassen geteilt, Bo, B1, B2 usw. Bildtafel XVIII zeigt eine große Anzahl von Unterklassen. 99 Prozent aller vermessenen Sternspektren lassen sich in den sechs Haupttypen unterbringen. Der restliche Teil gehört anderen Klassen an, O, P, N, R und anders benannten. Zur Einprägung der nur geschichtlich zu erklärenden Reihenfolge der sechs Haupttypen empfehlen wir den Satz: „Bei **A**llen **F**ixsterntypen **G**ibt's **K**ennzeichnende **M**erkmale." —

(12) Kennzeichen der Harvardtypen. Die B-Sterne, wie die hellen im Orion mit Ausnahme der Beteigeuze, weisen vor

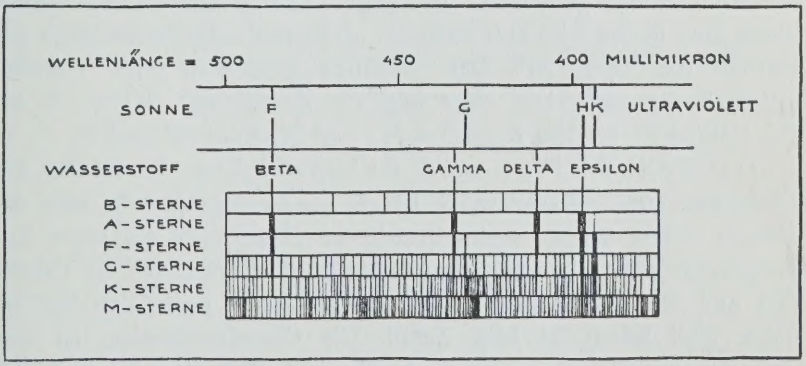


Bild 207. Rohes Schema der sechs Hauptsterntypen. Zu vergleichen mit Bildtafel XVIII. 1 Millimikron = 1 milliontel Millimeter.

allem Heliumlinien auf. — Die A-Sterne (Bild 207) wie Sirius und Wega zeichnen sich durch kräftige Beta-, Gamma-, Delta- und

Epsilonlinien des Wasserstoffes aus, die bei den B-Sternen weniger deutlich sind. Bei den F-, G- und K-Sternen sind die Wasserstofflinien auffällig, doch nicht so vorherrschend wie bei den A-Sternen. — Die F-Sterne, wie der Polarstern, werden vor allem durch die H- und K-Linien des Kalziums gekennzeichnet, die sich auch bei den G-, K- und M-Sternen deutlich hervorheben. — Die G-Sterne, wie Kapella, haben, wenn auch entsprechend schwach, dasselbe Spektrum wie die Sonne mit den vielen Metallinien. Unsere Sonne kann also als G-Stern bezeichnet werden. — Die K-Sterne, wie Arkturus, haben noch mehr Metallinien, die die Wasserstofflinien an Kraft überbieten. — Die M-Sterne, wie Antares und Beteigeuze, zeigen ausgiebig dunkle Bänder des Titanoxyds. — Die relativ seltenen O-Objekte führen auch den Namen der Wolf-Rayetsterne und zeigen im Spektrum helle Banden auf mattem, kontinuierlichem Untergrund. Beschränken wir uns einzig und allein auf die graphische Festlegung dieser wenigen Merkmale, die schließlich nur gemeinsam mit dem übrigen Teil des Spektrums dessen volle Charakterisierung geben, so kann das rohe Schema (Bild 207) vielleicht als ein erster Fingerzeig gewertet werden. Bildtafel XVIII läßt erkennen, daß die einzelnen Spektraltypen keinen für sich abgeschlossenen Zustand, sondern vielmehr Stufen eines kontinuierlichen Überganges darstellen, der, wie wir später zeigen werden, einer sprunglosen Temperaturzunahme vom M- zum O-Typ entspricht. Die gegen O und B liegenden Typen nennt man in der Literatur auch die „früheren", die gegen M zu gelegenen die „späteren". Den eingangs genannten vier visuellen Spektraltypen entspricht etwa folgende Zuordnung: Weiß = B bis F2, Gelb = F5 bis K2, Rötlich = K5 und M, Rot = N und R.

(13) Spektraltyp und Farbenindex. Da die Art des Spektrums dafür verantwortlich ist, ob das photographische oder das visuelle Gebiet stärker wirkt, besteht im allgemeinen ein enger Zusammenhang zwischen Spektraltyp und Farbenindex, den die Tabelle hier und Bild 208 aufzeigen. Daß die Ao-Sterne genau den Farbenindex Null haben, ist kein Zufall. Die Übereinstimmung ist eine definitionsgemäße. Der genaue Ao-Typ ist eben der, bei dem die photographische und visuelle Helligkeit einander gleichgesetzt wurden. In der Tabelle hier ist außer Spektraltyp und Farbenindex noch die sogenannte effektive Wellenlänge der typischen 6 Spektren angeführt. Dies ist die Wellenlänge derjenigen Stelle im Spektrum, die

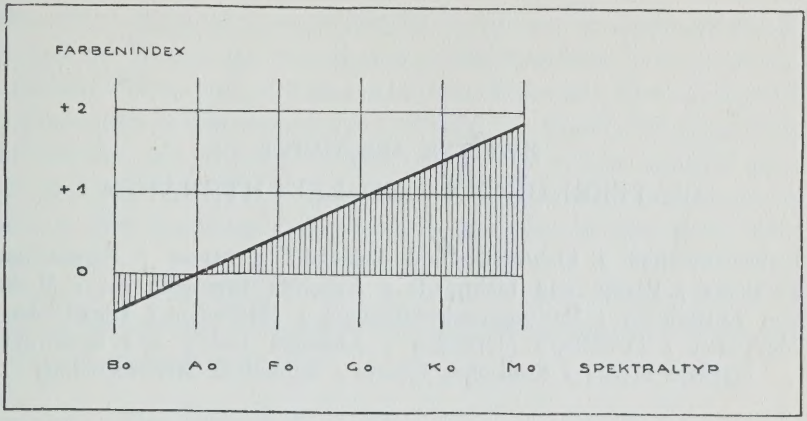


Bild 208. Spektraltyp und Farbenindex. Rote Sterne haben positiven, blaue negativen Farbenindex. Spektraltyp Ao hat den Farbenindex Null.

photographisch am wirksamsten ist, also die stärkste Energie aufweist. — Die Zahlen für diese Wellenlängen sind Durchschnittswerte verschiedener zum Teil voneinander sehr abweichender Angaben.

Effektive Wellenlänge

Spektraltyp	B	A	F	G	K	M
Farbenindex	—0,3	0,0	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,5	+ 1,9
Effektive Wellenlänge in milliontel Millimetern	417	422	427	433	442	449

ZWEITER ABSCHNITT

ENTFERNUNGEN UND LEUCHTKRÄFTE

Längeneinheiten / Lichtmeile und Lichtjahr / Parsec / Parsec und Parallaxe / Parsec und Lichtmeile / Absolute Himmelskugel / Modul und Entfernung / Entfernungsbestimmung / Methoden / Unmittelbare Methoden / Mittelbare Methoden / Absolute Größe und Spektrum / Nächste Sterne / Kubisches Gesetz / Räumliche Sternverteilung

(1) Längeneinheiten. Für die Gegenstände der Erdoberfläche und für diese selbst reichen das Meter und dessen nach den Regeln des Zehnersystems gebildete Teile und Vielfache als Längenmaße vollkommen aus. Bei relativen Messungen im Bereich des Sonnensystems leistet außerdem die nichtmetrische „astronomische Einheit" die besten Dienste. Bei den unvergleichlich größeren Entfernungen der Fixsterne sind neue große Maßeinheiten, Lichtmeile, Lichtjahr, Parsec u. a. vorteilhaft. Die Methoden, auf Grund derer wir uns heute über Sternentfernungen unterrichten können, waren mannigfaltiger Art und es ist zu verstehen, daß sich das Bedürfnis herausstellte, den neuen Arbeitsmethoden jeweils angepaßte, neue Maßeinheiten zu schaffen, und so finden wir im Verlauf der Zeit die verschiedensten Vorschläge für Längeneinheiten. Die Vielartigkeit der stellaren Maße ist jedoch, von höherer Warte aus gesehen, gewiß kein Vorteil. — „Ein allein seligmachendes Maßsystem gibt es nicht" wurde zur stereotypen Belehrung selbst von seiten derer, die sich ernstlich um die Theorie der Maßanwendung kümmerten. Aber ich glaube, daß es nicht gerade Aufgabe irgend eines rationellen Planes zur Vereinheitlichung der Maße ist, auch nur einen Menschen damit „selig zu machen". Es verlangt eine solche Vereinheitlichung schon das eminent praktische Bedürfnis nach einem unmittelbaren Vergleich verschiedenartigster Gegenstände, nach der Beziehung aller zueinander, was schließlich auch als Angelpunkt zur Schaffung eines wirklich einheitlichen Weltbildes dienen kann. Physik und Astronomie, besonders deren Naturwissenschaft der Sterne, stehen in einem

untrennbar engen, sich gegenseitig neu befruchtenden Zusammenhang, so daß ein Messen mit verschieden großen Einheiten zwar selbstverständlich bleiben muß, daß aber eine Verschiedenartigkeit voneinander unabhängiger Maßsysteme bei der Absicht, ein kosmisches Gesamtbild zu schaffen, nur hemmend wirken muß. Wir werden deshalb zwar die üblichen Einheiten besprechen, im Grunde aber, wie bisher, so auch in diesem vierten Teil unseres Buches uns rein metrischer Maße bedienen.

(2) Lichtmeile und Lichtjahr. Wir nennen die Länge von zehn Billionen Kilometern eine Lichtmeile oder ein metrisches Lichtjahr und schreiben:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Lichtmeile} &= 1 \text{ Lm} \\ &= 1 \text{ metrisches Lichtjahr} \\ &= 10\,000\,000\,000\,000 \text{ Kilometer} \\ &= 10^{13} \text{ Kilometer} \\ &= 10^{18} \text{ Zentimeter.} \end{aligned}$$

Die kleinen Zahlen 13 und 18 in den beiden allerletzten Zeilen, Potenzexponenten genannt, bedeuten, daß die Zahl 10 dreizehnmal oder achtzehnmal mit sich selbst zu multiplizieren ist. Wir lesen „10 hoch 13" und „10 hoch 18" und können die kleinen Zahlen auch als die Anzahl von Nullen betrachten, die an die Eins angehängt werden. Wenn wir dagegen später beispielsweise 10^{-6} sehen, so soll

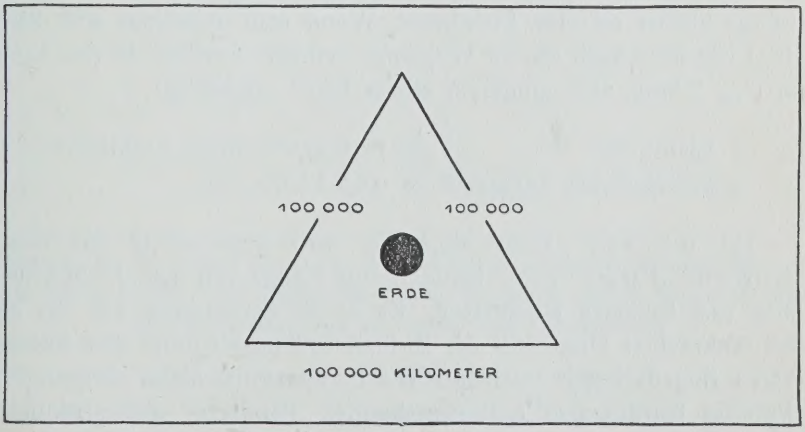


Bild 209. Lichtsekunde. 300 000 Kilometer entsprechen dem $7\frac{1}{2}$fachen Erdumfang.

dieses dem vorigen ähnliche Symbol bedeuten, daß wir nach einer Null und einem Dezimalkomma erst an die sechste Stelle eine Eins, also 0,000 001 oder ein Milliontel zu lesen haben. — Der Festlegung einer Lichtmeile liegt folgendes zu Grunde: Das Licht legt bei einer Sekundengeschwindigkeit von 300 000 Kilometern im Verlaufe eines Jahres oder in 365¼ Tagen rund 9,5 Billionen Kilometer zurück. Diese Länge wird in der gesamten Literatur „ein Lichtjahr" genannt. Sie bedeutet keine Zeit, sondern den Weg, den das Licht in einem Jahr zurücklegt, also den Lichtjahresweg. Er macht rund 10 Billionen Kilometer aus. Als Gedächtnisstütze kann dienen:

L i c h t j a h r e s w e g
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Kilometer

Die Zahl hat soviel Stellen wie das Merkwort Buchstaben hat. Das gewöhnliche Lichtjahr ist an und für sich keine metrische und dekadische Einheit und es werden gerne bei Überschlagsrechnungen statt der unbequemen 9,5 volle 10 Billionen Kilometer genommen. Um keine derartige Ungenauigkeit zu begehen und wegen des unmittelbaren Anschlusses an das metrische System nehmen wir eben genau 10 Billionen Kilometer als Einheit. Ihr Symbol Lm lesen wir „Lichtmeile" oder „Lichtjahr, metrisch gemessen". — Eine Lichtmeile oder ein metrisches Lichtjahr ist um rund $^1/_{20}$ der Länge größer als ein gewöhnliches Lichtjahr, ein gewöhnliches Lichtjahr um rund $^1/_{20}$ der Länge kleiner als eine Lichtmeile. Wenn man unbedingt will, kann die Lichtmeile auch als die Weglänge definiert werden, die das Licht in $1^1/_{20}$ Jahren, also „ungefähr einem Jahr", zurücklegt.

1 Lichtmeile = 1,05 gewöhnliche Lichtjahre
1 gewöhnliches Lichtjahr = 0,95 Lichtmeilen

(3) P a r s e c. Ganz allgemein wird gegenwärtig das nichtmetrische „Parsec" gerne benützt, eine Länge von 3,08 Lichtmeilen, also 30,8 Billionen Kilometern. Es ist die Entfernung, von der aus bei senkrechter Draufsicht der Erdbahnhalbmesser unter dem Winkel von 1 Bogensekunde erscheint. Die Parallaxe des hiebei vorgestellten Punktes beträgt also 1 Bogensekunde. „Parallaxe" und „Sekunde" sind in das unorganische Wortbild Parsec eingewoben. Statt Parsec kann man auch „Sternweite" sagen.

1 Parsec = 1 Sternweite
= 30,8 Billionen Kilometer
= 3,08 Lichtmeilen
= 3,26 gewöhnliche Lichtjahre
= 206 265 Erdbahnhalbmesser
= $3{,}08.10^{18}$ Zentimeter.

Andere noch vorgeschlagene Maße sind: „Siriusweite", das ist die Entfernung eines Sternes, dessen Parallaxe 0,2 Bogensekunden beträgt, dann „Siriometer" oder schlechthin „stellare Längeneinheit" für 1 Million astronomische Einheiten.

1 Siriusweite = 15,41 Lichtmeilen
1 Siriometer = 14,94 Lichtmeilen.

(4) Parsec und Parallaxe. In Bild 210, links oben, ist zunächst der Erdbahnhalbmesser in den Umfang eines Kreises verlegt gedacht, dessen Halbmesser der Definition des Parsec gemäß ein

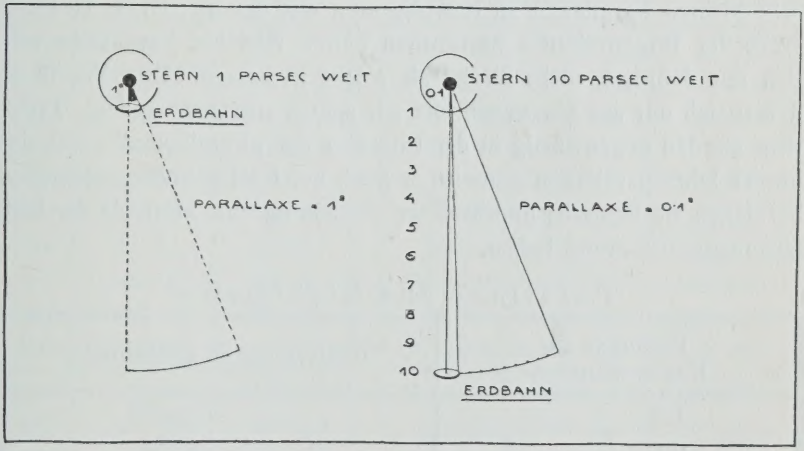


Bild 210. Der Parallaxe von einer Bogensekunde entspricht eine Entfernung von einem Parsec (3,08 Lichtmeilen), einer Parallaxe von 0,1 Bogensekunde eine Entfernung von 10 Parsec (30,8 Lichtmeilen).

Parsec sein muß, wenn wir den Winkel am Stern 1 Bogensekunde groß annehmen, wie es im Bild vermerkt ist. Verlegen wir — Figur rechts — die Erdbahn in den Umfang des Kreises, dessen Halbmesser 10 Parsec beträgt, dann wird von einem erdachten Stern aus, der

sich in der Kreismitte befindet, der Erdbahnhalbmesser nur unter dem Winkel von 0,1 Bogensekunde gesehen. Der Punkt hat dann bei der Entfernung von 10 Parsec von Erde und Sonne die Parallaxe 0,1 Bogensekunde. Ein 100 Parsec weiter Punkt oder Stern hat nach denselben Überlegungen die Parallaxe 0,01 Bogensekunde usw. Das Produkt „Parallaxe mal Parsec" ergibt immer Eins oder es ergibt jede der beiden Größen den Kehrwert der anderen — im Formelstil:

$$\text{Parsec} = 1 : \text{Parallaxe}$$
$$\text{Parallaxe} = 1 : \text{Parsec}.$$

In diesem einfachen Zusammenhang liegt der praktische Vorteil des Parsecmaßes, allerdings nur so lange, als man wirklich den „Winkel am Stern", die Parallaxe irgendwie möglichst unmittelbar ermitteln kann. Der Bereich dieser Möglichkeit hat relativ enge Grenzen. Eine direkt gemessene Parallaxe, kleiner als 0,05 oder $^1/_{20}$ Bogensekunde, ist schon recht unsicher. Ihre vertrauenswürdigen Grenzen liegen bei 0,03 und 0,07. In der Astronomie des Sternenalls hat man es nur mit sehr kleinen Parallaxen zu tun, die man mit der 2. oder 3. Dezimalstelle der Bogensekunde bestimmen kann. Kleinere Parallaxen werden nur definiert, nicht direkt als solche gemessen. Ihre Werte ergeben sich nur auf Umwegen, die wir später erörtern werden. Trotzdem werden gegenwärtig in der Literatur die „Parallaxen" — es sind immer Jahresparallaxen gemeint — auch bei Entfernungen angegeben, bei denen sie keinerlei unmittelbare Beziehung zur Methode der Entfernungsbestimmung haben.

Parallaxe und Lichtmeile

Parallaxe in Bogensekunden	Entfernung in Lichtmeilen
1,0	3,082
0,1	30,82
0,01	308,2
0,001	3 082
0,000 1	30 820
0,000 01	308 200
0,000 001	3 082 000
0,000 000 1	30 820 000
0,000 000 01	308 200 000

Die Tabelle „Parallaxe und Lichtmeile" zeigt den Zusammenhang auch für ganz kleine Parallaxen. Das Produkt „Parallaxe mal Lichtmeilen" ergibt immer 3,082.

Parsec und Lichtmeile

Parsec	Parallaxe in Bogensekunden	Lichtmeilen
1	1	3,08
2	0,50	6,16
3	0,33	9,24
4	0,25	12,33
5	0,20	15,41
6	0,17	18,49
7	0,14	21,57
8	0,12	24,65
9	0,11	27,73
10	0,10	30,82
10	0,10	30,82
20	0,050	61,63
30	0,033	92,45
40	0,025	123,26
50	0,020	154,08
60	0,017	184,90
70	0,014	215,71
80	0,012	246,53
90	0,011	277,34
100	0,010	308,16
100	0,010 0	308,16
200	0,005 0	616,32
300	0,003 3	924,48
400	0,002 5	1 232,64
500	0,002 0	1 540,80
600	0,001 7	1 848,96
700	0,001 4	2 157,12
800	0,001 2	2 465,28
900	0,001 1	2 773,44
1000	0,001 0	3 081,60

Parsec	Parallaxe in Bogensekunden	Lichtmeilen
1 000	0,001 00	3 081,6
2 000	0,000 50	6 163,2
3 000	0,000 33	9 244,8
4 000	0,000 25	12 326,4
5 000	0,000 20	15 408,0
6 000	0,000 17	18 489,6
7 000	0,000 14	21 571,2
8 000	0,000 12	24 652,8
9 000	0,000 11	27 734,4
10 000	0,000 10	30 816,0
10 000	0,000 100	30 816
20 000	0,000 050	61 632
30 000	0,000 033	92 448
40 000	0,000 025	123 264
50 000	0,000 020	154 080
60 000	0,000 017	184 896
70 000	0,000 014	215 712
80 000	0,000 012	246 528
90 000	0,000 011	277 344
100 000	0,000 010	308 160
100 000	0,000 010 0	308 160
200 000	0,000 005 0	616 320
300 000	0,000 003 3	924 480
400 000	0,000 002 5	1 232 640
500 000	0,000 002 0	1 540 800
600 000	0,000 001 7	1 848 960
700.000	0,000 001 4	2 157 120
800.000	0,000 001 2	2 465 280
900 000	0,000 001 1	2 773 440
1 000 000	0,000 001 0	3 081 600

(5) Parsec und Lichtmeile. Wenn wir 1 Parsec 3 Lichtmeilen gleichsetzen, so ist der Fehler geringer als 3 Prozent, was bei Überschlagsrechnungen und im Hinblick darauf, daß die kleinen in Betracht kommenden Sternparallaxen relativ nicht genauer sind, kaum in Betracht kommt. Unter Verwendung des genaueren Parsecwertes von 3,082 Lichtmeilen ergeben sich die Zahlen der Tabelle „Parsec und Lichtmeile".

(6) Absolute Himmelskugel. Für die Himmelskugel hatten wir bisher grundsätzlich keine bestimmte Größe angegeben. Es lag ganz im Gegenteil ein Hauptvorteil dieses gedanklichen Gerätes, es im gewissen Sinn als ideal elastisch anzunehmen und es im Nu beliebig verändern zu können. Um aber im Gegensatz zu den bloß relativen Leuchtkräften der Sterne deren tatsächliche etwa in Kerzenstärken ausdrückbare Leuchtkräfte festlegen zu können, geben wir unter den unendlich vielen denkbaren Himmelskugeln einer „absoluten" den Vorzug und schreiben ihr als der Standardhimmelskugel einen willkürlich bestimmten Halbmesser von 10 Parsec oder 30,82 Lichtmeilen, also rund 300 Billionen Kilometern zu. Unsere Sonne, der wir die „scheinbare Helligkeit" oder die „scheinbare Größe" -27 zuerkennen, würde, auf diesen weiten absoluten Himmel (Bild 211) versetzt, die Helligkeit eines Sternes von nur 5. Größe haben, also

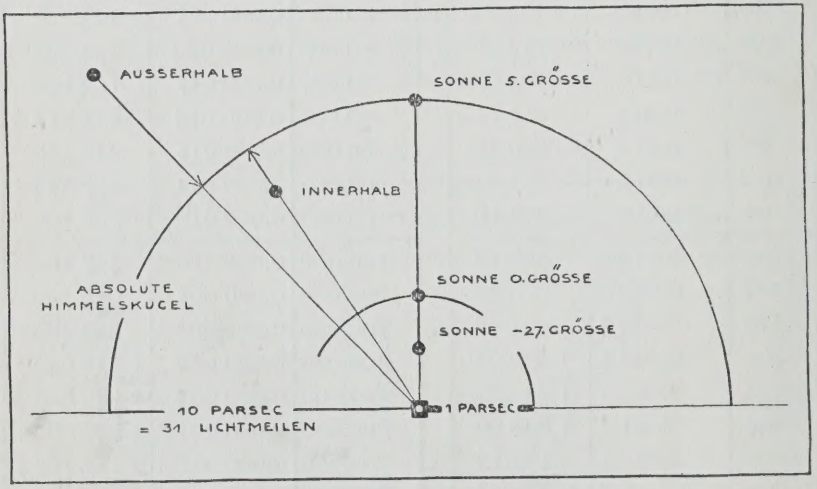


Bild 211. Absolute Himmelskugel. Halbmesser 31 Lichtmeilen. Absolute Größe eines Sternes ist die scheinbare, die er hätte, wenn er auf die absolute Himmelskugel versetzt würde.

bloß als schwacher Stern leuchten. Wir gebrauchen, um diesen Gedankenversuch anzudeuten, folgende Ausdrucksweise und Unterscheidung: Unsere Sonne hat die absolute Größe oder absolute Helligkeit + 5, während ihre scheinbare Größe oder scheinbare Helligkeit - 27 ist, auf zwei Dezimalen genau:

$$\text{scheinbare Größe} = -26{,}72$$
$$\text{absolute Größe} = +4{,}85.$$

Jeder Stern, der wie die Sonne innerhalb der absoluten Himmelskugel liegt, wie z. B. Atair im Adler, wird, von uns weg auf die absolute Kugel geschoben gedacht, lichtschwächer. Jeder Stern außerhalb der absoluten Himmelskugel, z. B. Beteigeuze, muß zu uns „herangezogen" werden, um auf sie zu gelangen. Er wird bei diesem Gedankenexperiment scheinbar heller, so wie eine Kerze vorteilhafter leuchtet, wenn wir sie näher bringen. Der Unterschied „absolute minus scheinbare Größe eines Sternes" heißt dessen Entfernungsmodul. Er ist positiv für Sterne innerhalb und negativ für Sterne außerhalb der absoluten Himmelskugel. Es besteht zwischen absoluter Größe und Entfernung einerseits und scheinbarer Größe anderseits ein eindeutiger Zusammenhang, infolgedessen ebenso ein solcher auch zwischen Entfernungsmodul und Entfernung. — Die absolute Größe eines Sternes ist eigentlich auch nur eine scheinbare Größe, die

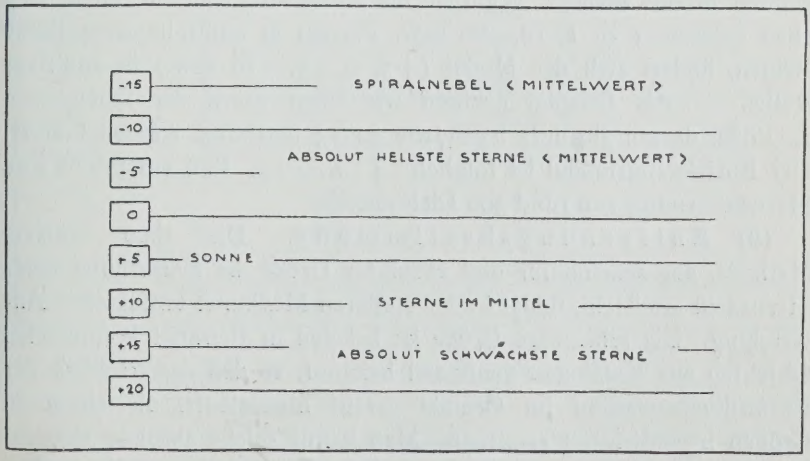


Bild 212. Dimensionsleiter der absoluten Größen. Eine gewöhnliche Kerze hat die absolute Größe + 73.

eben der betreffende Stern hätte, wenn man ihn sich auf die absolute Himmelskugel versetzt dächte. Deshalb gelten alle für die scheinbaren Größen aufgestellten Begriffe und Beziehungen auch für die absoluten Größen. Sie werden z. B. ebenfalls visuell, photographisch, photovisuell, bolometrisch oder radiometrisch bestimmt. Es gibt ebenso auch einen Farbenindex, Wärmeindex für absolute Sterngrößen usw. Die Sterne haben im Mittel absolute Größen +8 bis +12, die absolut schwächsten haben +16, die absolut hellsten im Mittel -7. Man bezeichnet die letzteren als Riesen und Überriesen, die absolut schwächsten als Zwerge. Aus Bild 212, in das auch die Sonne, ebenso auch die Spiralnebel eingetragen sind, ist der Schwankungsbereich der absoluten Helligkeiten der Sterne zu ersehen. — Zur Unterhaltung teilen wir mit, daß eine Kerzenflamme die absolute Größe +73 hat. — Wird keine besondere Angabe zum Begriff „Sterngröße" gemacht, so ist immer die scheinbare Größe oder scheinbare Helligkeit gemeint.

(7) Modul und Entfernung. Die Tabelle Entfernungsmodul gilt für bestimmte Moduln im Sinne des im vorigen Kapitel beschriebenen Zusammenhanges. Die Tabelle, in erweiterter Form gedacht, läßt also ohne weiteres die Entfernung eines Sternes ermitteln, wenn einzig und allein außer der direkt meßbaren scheinbaren Größe auch dessen absolute irgendwie bestimmbar ist, so daß ein bekannter Modul vorliegt. Während die Entfernungen (von unten nach oben gelesen, z. B. 1, 10, 100 usw. Parsec) in multiplikativer Reihe steigen, ändert sich der Modul (+5, 0, -5, -10 usw.) in additiver Reihe. — Als Beispiel nehmen wir einen Stern der scheinbaren 1. Größe, dessen absolute irgendwie zu -4 bestimmt werden konnte. Der Entfernungsmodul ist folglich $-4 - 1 = -5$. Ihm entspricht eine Sternentfernung von rund 300 Lichtmeilen.

(8) Entfernungsbestimmung. Die eben erklärte Methode, aus scheinbarer und absoluter Größe die Entfernung eines Sternes zu ermitteln, findet in der stellaren Meßkunst umfassende Anwendung. Die scheinbare Größe ist bei den in Betracht kommenden Objekten aus Katalogen genügend bekannt, so daß das Problem der Entfernungsmessung im Grunde darauf hinausläuft, die absoluten Größen irgendwie zu ermitteln. Man kennt solche absolute Größen, wie wir später sehen werden, u. a. bei den sogenannten Zepheiden, dann bei gewissen Sternen mit eigentümlichem Verhalten bestimmter

Entfernungsmodul

Parallaxe	Parsec	Lichtmeilen	Absolute Größe minus scheinbare
0,000 01 ″	100 000	308 000	— 20
0,000 016	63 000	194 000	— 19
0,000 025	40 000	123 000	— 18
0,000 04	25 000	77 000	— 17
0,000 06	16 000	49 000	— 16
0,000 1	10 000	30 800	— 15
0,000 16	6 300	19 400	— 14
0,000 25	4 000	12 300	— 13
0,000 4	2 500	7 700	— 12
0,000 6	1 600	4 900	— 11
0,001	1 000	3 080	— 10
0,001 6	630	1 940	— 9
0,002 5	400	1 230	— 8
0,004	250	770	— 7
0,006	160	490	— 6
0,01	100	308	— 5
0,016	63	194	— 4
0,025	40	123	— 3
0,04	25	77	— 2
0,06	16	49	— 1
0,1	10	30,8	0
0,16	6,3	19,4	+ 1
0,25	4,0	12,3	+ 2
0,4	2,5	7,7	+ 3
0,6	1,6	4,9	+ 4
1 ″	1	3,1	+ 5

Spektrallinien, dann bei sogenannten Neuen Sternen und endlich aus dem besonderen Studium der Farbenindexe, so daß man Entfernungen auf physikalischem Weg ermitteln kann. Zu den uns schon bekannten Methoden gesellt sich also in der Stellarastronomie eine ganze Menge anderer, so daß deren von einander unabhängige Anwendungen bei

ein und demselben Problem bei Übereinstimmung im Ergebnis eine Gewähr für die Richtigkeit der Berechnungen oder Schätzungen bieten. Wir geben zunächst eine Übersicht über die Methoden der Entfernungsbestimmung.

(9) Methoden. Diese können unmittelbar sein oder indirekt, mittelbar, indem sie z. B. ihrem Wesen nach zunächst kein anderes Ziel haben, als die absolute Größe eines Sternes irgendwie zu bestimmen und dann erst, gleichsam in zweiter Linie, etwa durch Anwendung des Entfernungsmoduls die Entfernung liefern. Die wichtigeren Methoden sind hier zunächst nur mit Namen und kennzeichnendem Schlagwort angeführt. Eine Beschreibung der Methoden erfolgt anschließend oder erst in späteren Abschnitten.

Unmittelbare individuelle Methoden:

1. ohne Nachbarsterne,
2. mit Nachbarsternen,
3. bei Ausfall der Eigenbewegung,
4. aus Rektaszensionsunterschieden.

Unmittelbare statistische Methoden:

5. aus scheinbaren Größen,
6. aus Eigenbewegungen,
7. aus der Sonnentranslation.

Mittelbare Berechnung aus absoluter Größe:

8. aus der Lichtkurve (Zepheidenproblem),
9. aus der Natur der Spektrallinien,
10. aus Farbenindex oder effektiver Wellenlänge,
11. bei Neuen Sternen.

Mittelbare Berechnung anderweitig:

12. aus Doppelsternbahnen,
13. aus Sternströmen (Hyadenproblem),
14. aus dem Vergleich von Durchmessern,
15. durch allgemeine Analogieschlüsse.

(10) Unmittelbare Methoden. Die Entfernungsmessung erfolgt trigonometrisch, zunächst ohne daß man Nachbarsterne zu Hilfe

nimmt. Es wird als Grundlinie des Dreieckes „Station I - Stern - Station II" die Erdbahn genommen, indem z. B. einmal im Sommer und einmal im Winter die Richtung zum Stern und daraus die „absolute", d. h. ohne Bezugnahme auf Nachbarsterne ermittelte Parallaxe des Sternes errechnet wird, die dann die Entfernung gibt. Nimmt man Bezug auf Nachbarsterne, die als Hintergrundsterne so weit liegen, daß sie, wenigstens im großen Durchschnitt, keine Jahresparallaxe zeigen, so nennt man das Verfahren relative Parallaxenbestimmung. Bei ihr wird aus der Ortsveränderung des zu beobachtenden Sternes relativ zu den anderen dessen Parallaxe ermittelt. Es ist auch möglich, bei Sternen sogenannte Eigenbewegungen, die wir im nächsten Abschnitt behandeln und die eine Parallaxe vortäuschen könnten, durch geeignete Verfahren auszuschalten und die betreffenden Sterne zu regelrechten Parallaxenbestimmungen zu verwerten. Bis zur Parallaxe von 0,05 Bogensekunden, der eine Entfernung von 60 Lichtmeilen entspricht, sind derartige trigonometrische Messungen als verbürgt anzusehen. Trigonometrisch bestimmte Sternentfernungen von 60 bis zu 300 Lichtmeilen sind schon unsicher, Entfernungsmessungen über 300 Lichtmeilen wenig brauchbar. — Die an vierter Stelle genannte Methode beruht darauf, daß bei besonders genau durchführbaren Rektaszensionsbestimmungen Unterschiede von Rektaszensionen ein und desselben Sternes verwertet werden. Die statistische Methode „aus scheinbaren Größen" — Übersicht: Nr. 5 — stützt sich auf die Überzeugung, daß, wenn auch die wirklichen, in Kerzenstärken ausgedrückten Helligkeiten der Sterne bei den einzelnen Sternen sehr verschieden sind, in der Gesamtheit sehr vieler Sterne doch nur die scheinbar helleren im Durchschnitt die näheren und die scheinbar schwächeren im Durchschnitt auch die weiteren sind. Es ist ganz und gar unwahrscheinlich, daß hier das „Gesetz der großen Zahlen" nicht stimmen sollte. Man kennt aus Messungen genannter Arten die Helligkeit der Sterne etwa 3., 4., 5. Größe usw. im rohen Durchschnitt und hat sich einen Zusammenhang zwischen Helligkeit und Entfernung zurechtgelegt und die Gültigkeit dieser Gesetzmäßigkeit auch auf Sterne ausgedehnt, die rein teleskopisch sind. Dabei hat man, wie es sich zeigte, im allgemeinen mit diesem Analogieschluß keine schlechten Erfahrungen gemacht. Über Eigenbewegung und Translation — Übersicht: Nr. 6 und 7 — wird uns der nächste Abschnitt belehren.

(11) Mittelbare Methoden. Ohne daß man die inneren Ursachen kennt, besteht ein erfahrungsmäßig verbürgter Zusammenhang zwischen der kürzeren oder längeren Periode der Helligkeitsschwankungen und der absoluten Größe einiger Sterne, die nach dem Stern Delta Cephei die Zepheiden genannt werden. Ebenso weiß man aus der Eigenart mancher Spektrallinien erfahrungsgemäß, auf Grund von Vergleichen, auf die absolute Größe der sie erzeugenden Sterne zu schließen. Endlich stehen auch Farbenindex und effektive Wellenlänge im Zusammenhang mit der absoluten Größe. — Da nun endlich auch gelegentlich neu aufleuchtende Sterne bei hellstem Glanze nachweisbar so ziemlich die gleiche absolute Helle besitzen, so liefern alle die eben aufgezählten Beobachtungen eben wegen der genannten Zusammenhänge die Möglichkeit, aus der gefundenen absoluten Helligkeit und der stets meßbaren scheinbaren mit Hilfe des Moduls der Entfernung diese letztere zu bestimmen. Zwei von den letztaufgezählten drei Methoden werden uns gelegentlich der Doppelsterne und der Sternströme beschäftigen; die Analogiemethode durchdringt, soweit sie statistisch erlaubt ist, letzten Endes alle anderen. Sie spielt bei den Entfernungsmessungen der fernsten Sternhaufen und Nebel, vereint mit der Methode des Vergleichens verschiedener Durchmesser, eine ausschlaggebende Rolle. Abschnitt 6 und 8 erklären das Nähere.

(12) Absolute Größe und Spektrum. Für viele Sterne besteht ein Zusammenhang zwischen Spektraltyp und absoluter Größe, der in Bild 235 durch eine punktierte Linie schematisiert wiedergegeben ist. Werden den Typen B bis M die Spektralnummern 0 bis 5 zugeteilt, dann wird die absolute Größe rechnerisch gefunden, indem man von der doppelten Spektralnummer 1 abzieht. Das G-Spektrum z. B. hat die Spektralnummer 3. Diese Zahl verdoppelt gibt 6, — weniger 1 liefert 5. Sterne mit G-Spektrum haben durchschnittlich genommen die absolute Größe 5. Unsere Sonne ist ein solcher Stern und tatsächlich ist ihre absolute Größe 5, wie wir schon früher sahen. Es wäre demnach möglich, aus dem photographierten Spektrum dessen Typ und somit sogleich die absolute Größe zu ermitteln und dann mittels der scheinbaren Helligkeit und des Entfernungsmoduls die Entfernung zu bestimmen. Nun stimmt aber das in Bild 235 veranschaulichte „lineare Gesetz" nur in sehr engen Grenzen und ist zweideutig insofern, als besonders für den G-, K- und M-Typ

sowohl absolut schwache als auch absolut sehr helle Sterne vorhanden sind. — Man kann diese aber voneinander unterscheiden, denn es sind Unterschiede in der Beschaffenheit gewisser Spektrallinien, sogenannter Kennlinien, bei beiderlei Sternen gefunden worden. Die kleine Tabelle bietet nur wenige Beispiele, bei denen Linien des Kalziums und Strontiums den Ausschlag geben. Aber auch andere, z. B. die Wasserstofflinien verraten, je nachdem, ob sie beim sonst gleichen Gesamtspektrum relativ kräftig oder schwach entwickelt sind, ob es sich also um absolut helles oder schwaches Leuchten handelt, ob wir es mit Riesen oder mit Zwergen zu tun haben.

Zugehörigkeit und Wellenlänge in Millimikron		Kräftig	Schwach
Kalzium	445,4	Zwerg	Riese
Kalzium	443,5	Zwerg	Riese
Kalzium	422,7	Zwerg	
Strontium	460,7		Riese

(13) Nächste Sterne. Bild 213 gibt eine Statistik der uns nächsten Sterne. Wir finden unter ihnen Sirius mit 8, Prokyon mit 10, Alpha im Zentauren mit 4 Lichtmeilen vertreten. Atair liegt knapp außerhalb der 15 Lichtmeilen, auf die sich das Bild beschränken sollte.

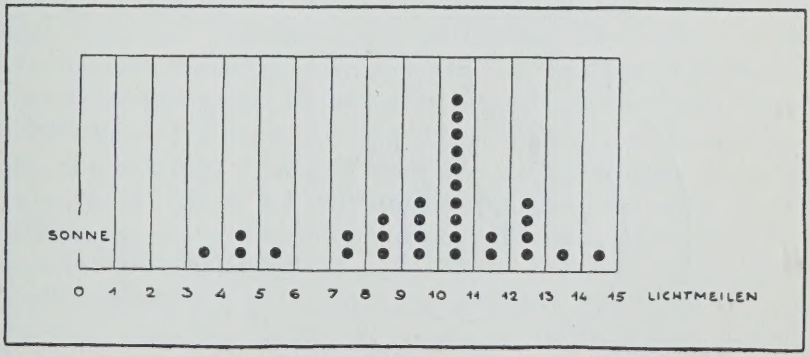


Bild 213. Statistik der 31 sonnennächsten Sterne, nach Lichtmeilen geordnet

Der allernächste Stern befindet sich im Zentauren. Er führt den Namen Proxima, d. h. der nächste Stern. Er ist uns etwas näher als der Stern Alpha, immerhin 275 000mal weiter als die Sonne. Die an-

geführten 31 Sterne besitzen scheinbare Größen im Bereich von 15 Stufen und zeigen vorwiegend die Spektren M und K.

(14) Kubisches Gesetz. Wir schreiten über den Bereich der uns nächsten Sterne hinaus. In Bild 214 sind um unser Auge zwei Kugeln gelegt, deren Halbmesser bis zu den Sternen von durchschnittlich 5. und 6. Größe reichen, und wir machen die zunächst einzig mögliche Annahme, daß alle Sterne unserer Zählung in Wirklichkeit gleich hell sind, etwa dieselbe Kerzenstärke besitzen und daß sie im großen und ganzen gleichmäßig im Raum verteilt sind. Dann muß zunächst in unserem Schema z. B. der Stern 6. Größe weiter liegen als der Stern 5. Größe. Wievielmal weiter, sagt uns folgende Erfahrung. Eine über uns befindliche Lampe muß, wenn sie das Buch auf dem Tisch nur mit dem 4., 9., 16. Teil beleuchten soll, 2-, 3-, 4mal so hoch hängen, entsprechend dem Zusammenhang $4 = 2 \times 2$, $9 = 3 \times 3$, $16 = 4 \times 4$. Es entspricht dies dem optischen Gesetz, daß die Beleuchtung irgend einer Fläche abnimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle. Die Regel ähnelt dem aus dem Gravitationsgesetz bekannten Zusammenhang, daß nämlich die Kraft mit dem Quadrat der gegenseitigen Entfernung abnimmt. Es muß also der typische Stern 6. Größe 1,6mal weiter liegen als der Stern 5. Größe, denn $1{,}6 \times 1{,}6$ ist rund $2\frac{1}{2}$ (Seite 416). Deshalb verhalten sich also die Halbmesser wie 1,6 : 1, infolgedessen die Inhalte

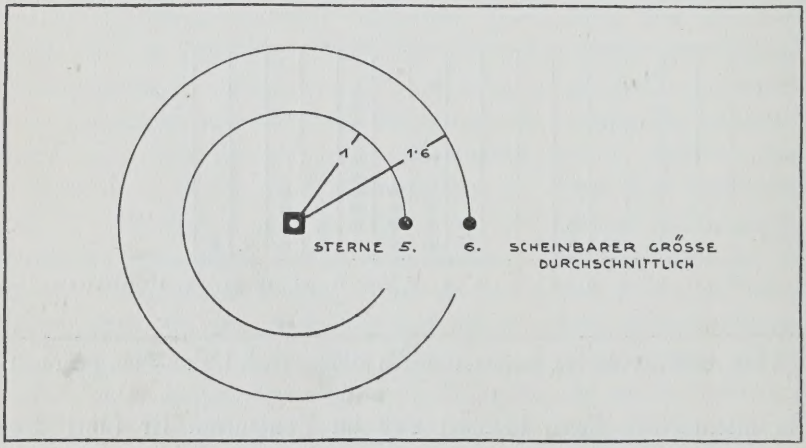


Bild 214. Sterne bis einschließlich 6. Größe reichen 1,6mal weiter in den Raum hinaus als Sterne bis einschließlich 5. Größe.

wie $1{,}6 \times 1{,}6 \times 1{,}6 : 1 = 4 : 1$. — Wären, wie wir es nach unserer schon geäußerten Absicht annehmen wollen, die Sterne im gleichen Raum unserer Betrachtung wirklich gleichmäßig verteilt, dann müßte die größere Kugel rund viermal mehr Sterne umfassen als die kleinere. Es müßte also nach diesem kubischen Gesetz eine Größenklasse 4mal soviel Sterne enthalten als die vorhergehende schwächere Klasse. — Legen wir durch alle typischen Sterne der einzelnen Größenklassen nach dem Muster von Bild 214 die eben beschriebenen Kugeln, so müßten sich die entsprechenden Sternzahlen der

5., 6., 7., 8. usw.

Klasse verhalten wie $1 : 4 : 4 \times 4 : 4 \times 4 \times 4$: usw. oder wie

$1 : 4 : 16 : 64$ usw.

Es müßte also beispielsweise 16mal soviel Sterne bis zur 7. als bis zur 5. Klasse, 16mal soviel Sterne bis zur 11. als bis zur 9. Klasse geben usw.

Tatsächlich gibt es aber nur 8mal mehr Sterne bis zur 7. Klasse als bis zur 5. Klasse, nur 7mal mehr Sterne bis zur 11. Klasse als solche bis zur 9., nur 5½mal mehr Sterne bis zur 15. als solche bis zur 13. Klasse und nur 4mal mehr Sterne bis zur 19. als bis zur 17. Klasse, und durchaus nicht 16mal mehr, wie es die Annahme gleicher Sternverteilung im Raum verlangen würde.

(15) Räumliche Sternverteilung. Die Sterne sind nach dem eben Gesagten nicht gleichmäßig im Raum verteilt. Die wirkliche, räumliche Dichte nimmt mit der Entfernung der Sterne von uns beträchtlich ab. Es muß auch möglich sein, in groben Zügen Anordnung und Grenzen der Sternenwelt mit Hilfe von Sternzählungen zu bestimmen. Und dies letztere ist auch geschehen, beispielsweise für die Ebene der Milchstraße, und zwar vor allem in der Richtung gegen den Schützen und entgegengesetzt gegen die Zwillinge zu. Diesem wichtigen statistischen Problem ist im Abschnitt über die Milchstraße ein breiter Raum gewidmet. Die Verteilung der einzelnen absoluten Größen in relativen Zahlen veranschaulicht Bild 215. Wir erkennen auf den ersten Blick das starke Überwiegen absolut schwacher Sterne. Der Darstellung liegt folgendes zu Grunde. Die Zahlen sind Relativzahlen und geben an, wievielmal mehr Sterne einer bestimmten Klasse gezählt wurden als Sterne der absoluten Größe —5. Die Zahl 200 000 für + 5 z. B. sagt, daß es ebensovielmal

mehr Sterne der absoluten Größe +5 gibt, wie z. B. unsere Sonne einer ist, als Riesensterne von der absoluten Größe - 5. Sterne der Klasse

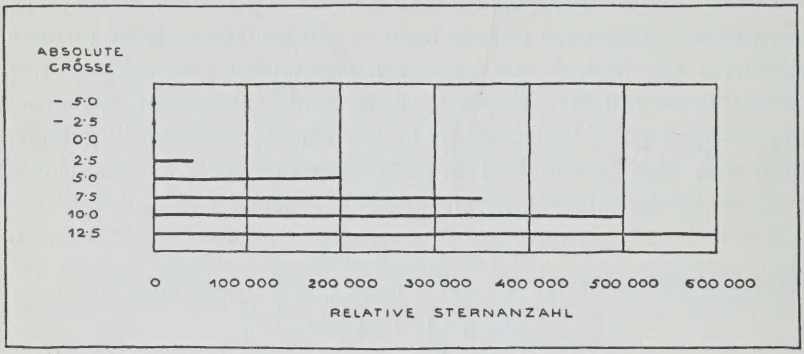


Bild 215. Häufigkeit der absoluten Größen. Häufigkeitsfunktion. Schwache Sterne überwiegen gewaltig.

- 2,5 gibt es 90mal, solche der nullten Klasse etwa 3000mal, solche der Klasse +2,5 etwa 42 000mal mehr als Sterne der Klasse - 5 usw. Man nennt den Zusammenhang zwischen Sternanzahl und absoluter Größe die Häufigkeitsfunktion der absoluten Größen.

DRITTER ABSCHNITT
STERNBEWEGUNGEN

Begriff Fixstern / Bewegungsarten / Eigenbewegung / Parallaktische Bewegung / Säkulare Parallaxe / „Wirkliche" Erdbahn / Radialgeschwindigkeit / Totalgeschwindigkeit / Hyadenproblem / Geschwindigkeitskugel / Ellipsoidische Verteilung / Verschiedene Sternströme

(1) Begriff Fixstern. Im ersten, sphärischen Teil unseres Buches wurden die Sterne ausdrücklich als wirkliche „Fixsterne" betrachtet, die gleichsam an der Sternenkugel angeheftet sind, so daß sie ihre gegenseitige Lage beibehielten, auch wenn die ganze Sternenkugel außer der täglichen und jährlichen Drehung auch noch die Präzessions- und Nutationsbewegung mitmachte. Eine solche Starrheit des Sternsystems müssen wir nun endgültig aufgeben, nicht als ob das bisherige irgendwie falsch oder ungenau wäre, denn es ist immer Aufgabe astronomischer Methoden, trotz aller Veränderungen mittlere Örter der Sterne festzulegen, so daß stets mit einem wenigstens momentan starren Zustand der Sphäre gerechnet wird. Tatsächlich ist weder die Entfernung eines Sternes von der Erde oder von der Sonne konstant, noch auch bleiben die Koordinaten irgend eines Sternes in bezug auf irgend eines der früher beschriebenen Koordinatensysteme oder in bezug auf seine Nachbarsterne immer dieselben. Vor allem eilt die Sonne, die auch letzten Endes ein Stern — oder Fixstern — ist wie alle anderen, und mit ihr das ganze Sonnensystem durch den Sternenraum gegen einen Punkt im Sternbild des Herkules. Dieser Punkt wird „Apex der Sonnentranslation" genannt (Bild 216).

(2) Bewegungsarten. Die jährliche Änderung der Koordinaten irgend eines Sternes auf der Sternenkugel hinsichtlich der großen Menge aller anderen Sterne nennen wir die Eigenbewegung eines Sternes. Der durch die Sonnenbewegung bedingte Teil der Eigenbewegung heißt parallaktische Bewegung, der nach Ausschaltung der parallaktischen Sternbewegung übrigbleibende Rest heißt

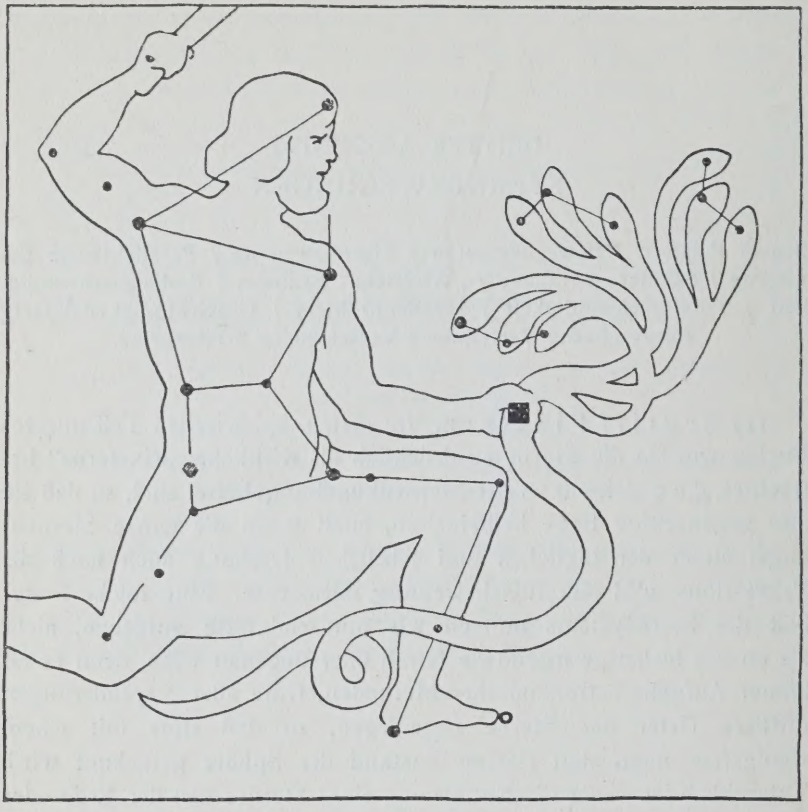


Bild 216. Sternbild des Herkules. Nord unten. Schraffierte Stelle = kugelförmiger Sternhaufen der Bildtafel XIX. Schwarzes Quadrat = Apex der Sonnentranslation.

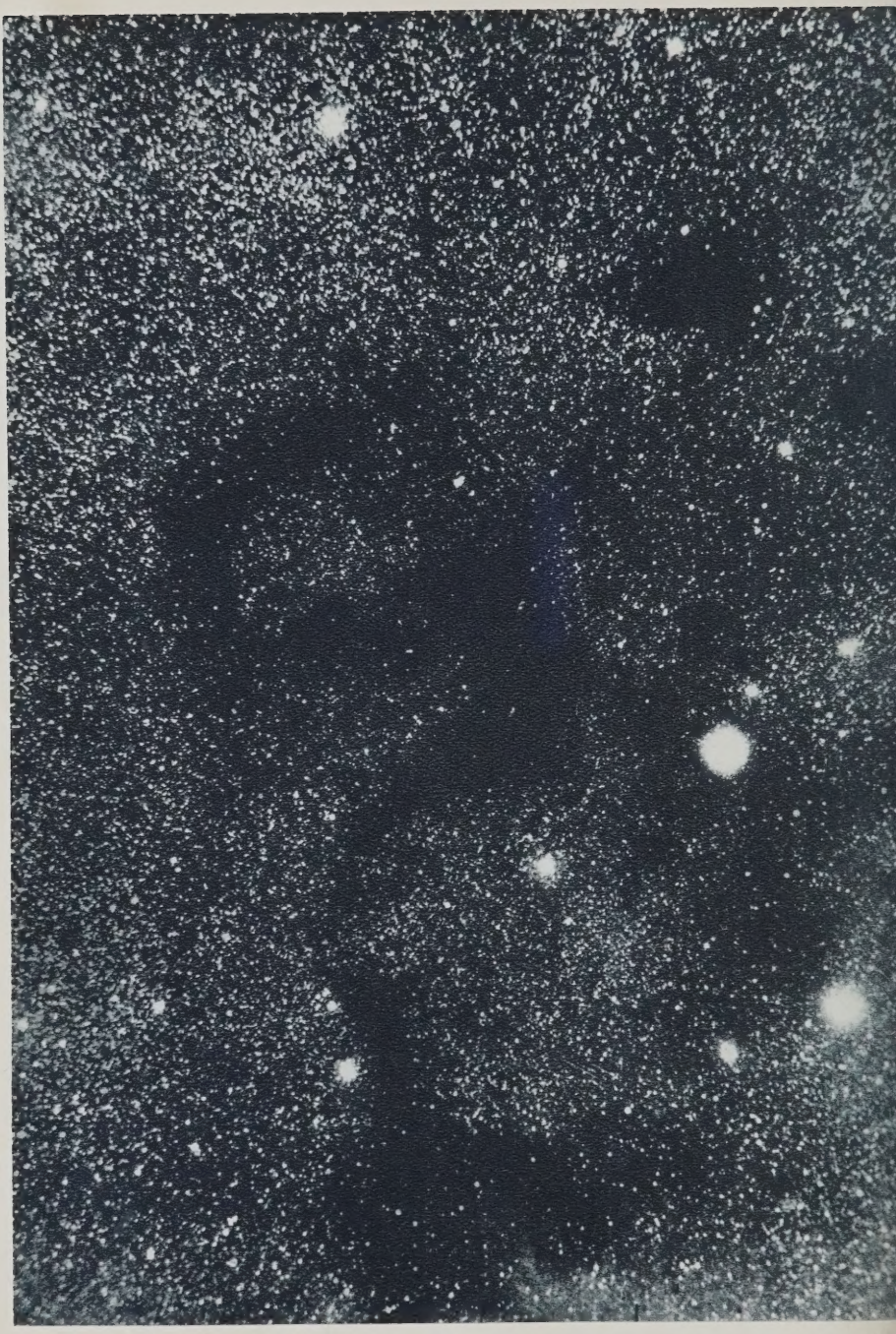
Spezialbewegung, auch spezielle oder pekuliare Bewegung. Es ist also:

Eigenbewegung = parallaktische plus Spezialbewegung.

Parallaktische Änderungen im Verlauf langer Zeiträume, etwa in 100 Jahren, heißen säkular, Bewegungen in der Gesichtslinie auf uns zu oder von uns weg radial, solche senkrecht zur Gesichtslinie tangential. Systematische gemeinsame Eigenbewegungen oder systematische gemeinsame Spezialbewegungen innerhalb ganzer Sterngruppen werden als Sternströme oder Sterndriften bezeichnet.

(3) Eigenbewegung. Die Eigenbewegung wird in Bogensekunden je Jahr gemessen. Die überwältigende Menge der tele-

Milchstraße im Schwan (Yerkessternwarte)



Dunkelnebel (Mount Wilsonsternwarte)

TAFEL XXV

skopischen Sterne hat die Eigenbewegung Null im Sinne von „unendlich klein". Höchstens ein Prozent der Sterne, bei denen man mit Sicherheit überhaupt eine Bewegung feststellen konnte, weist mehr als eine Bogensekunde Eigenbewegung auf. Die Beträge der zehn größten Eigenbewegungen sollen die Punkte im Diagramm Bild 217 ver-

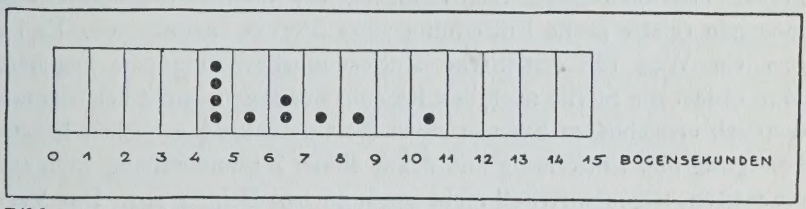


Bild 217. Die zehn größten Eigenbewegungen, nach Bogensekunden geordnet

anschaulichen. Durch die Ungleichheit der Eigenbewegungen verändern sich, allerdings erst in Jahrtausenden „merklich", die Sternbilder. Zeichnet man auf Grund der heute feststellbaren Ortsveränderungen der Sterne für die Zeit vor 100 000 und nach 100 000 Jahren z. B. den Himmelswagen, so ist er als solcher in beiden Veränderungen kaum mehr zu erkennen. Bild 218 veranschaulicht die aus-

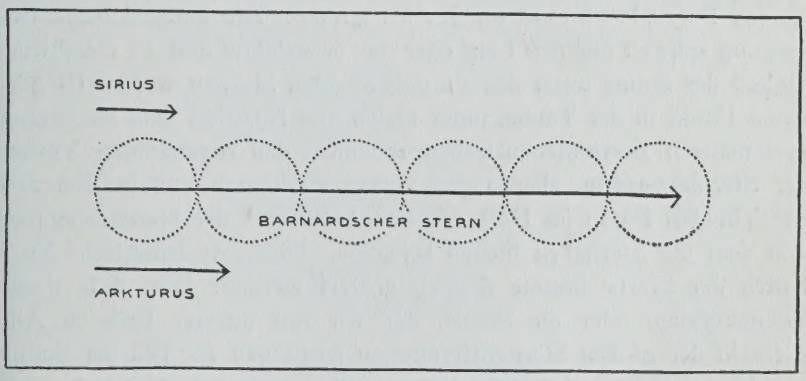


Bild 218. Große Eigenbewegungen dreier Sterne innerhalb eines Jahrtausends. Die punktierten Kreise bedeuten Vollmondflächen. Vollmondbreite = ½ Grad.

nahmsweis großen Eigenbewegungen zweier heller Sterne, Sirius und Arkturus. Der Barnardsche „Pfeilstern" — im Schlangenträger, bloß 10. Größe — überbietet mit seinen 10 Bogensekunden je Jahr alle anderen Sterne. Die Eigenbewegung ist die bloße Projektion der

wirklichen dreidimensionalen räumlichen Bewegung auf die Himmelskugel. Dabei wird nichts darüber ausgesagt, ob sich der Stern nicht auch gegen uns bewegt, oder von uns weg. Noch weniger wird bei Angabe der Eigenbewegung etwas über die Entfernung eines Einzelsystems ausgesagt. Doch ist es naheliegend, im Durchschnitt bei großer Eigenbewegung relativ kleine, bei kleiner Eigenbewegung hingegen relativ große Entfernung eines Sternes anzunehmen. Es ist hier ein Weg für statistische Entfernungsbestimmungen gegeben. Man ordnet die Sterne nach den Eigenbewegungen, sucht bei trigonometrisch erreichbaren Sternen einen Zusammenhang zwischen Eigenbewegung und Entfernung und dehnt diesen Zusammenhang auch auf die weiten, trigonometrisch nicht zugänglichen Gebiete aus. Das Verfahren ist dann sehr brauchbar, wenn andere Methoden versagen oder gestützt oder geprüft werden sollen. Kennt man von einem Stern die Entfernung, so läßt sich berechnen, wieviel Kilometer lang in der tatsächlichen Entfernung des Sternes die Projektion des wirklichen jährlichen Sternweges auf eine zu unserer Blickrichtung senkrechte Ebene ist. Der Satz vom schmalen Dreieck ergibt nämlich: Tangentiale Eigenbewegung in Kilometern = Entfernung in Kilometern mal Arcus der Eigenbewegung.

(4) Parallaktische Bewegung. Die parallaktische Bewegung spiegelt nur den Lauf oder die Translation und die Geschwindigkeit der Sonne unter den sie umgebenden Sternen wider. Es gibt einen Punkt in der Taube, unter Orion und Hase, zu dem die Sterne systematisch zusammenzustreben scheinen, den sogenannten Vertex der Sternbewegung, ebenso den vorhin erwähnten und in Bild 216 bezeichneten Punkt im Herkules, den Antivertex der Sternbewegung, von dem die Sterne zu fliehen scheinen. Dieses systematische Verhalten der Sterne könnte doppelt erklärt werden: Wir, d. h. unser Sonnensystem oder die Sonne, der wir mit unserer Erde in Anbetracht der großen Sternentfernungen sozusagen als Teil der Sonne angehören, ruhen. Dann laufen die Sterne parallel zueinander mit gleicher Geschwindigkeit zur Taube unter dem Orion. Betrachten wir — zweiter Fall — die Sterne als Bezugssystem, dann läuft die Sonne zum Herkules. Die Entscheidung, ob wir die Sonne oder die zahllosen anderen Sterne als Bezugssystem auszuwählen haben, ist vom Standpunkt einer möglichst einfachen Beschreibung bald gegeben: Die Sonne „bewegt sich gegen den Herkules". Der Ziel-

punkt dieser Sonnentranslation, der Apex, ist identisch mit dem Antivertex der an der sonnenzentrischen Himmelskugel sich bewegenden Sterne. Der Start der Sonnentranslation heißt ihr Antiapex oder Antapex. Er ist identisch mit dem Vertex der Sternbewegungen. — Es war möglich, den Apex (18.00 + 34) und Antiapex (6.00 - 34) zu berechnen, wenn auch durchaus nicht mit großer Sicherheit, da die vielen Sterne selbst spezielle Bewegungen besitzen. Die rechnerische Deutung der im Grunde genommen perspektivischen Ortsveränderungen der Sterne infolge der Sonnentranslation ergibt für die translatorische Sonnengeschwindigkeit 19,5 Kilometer je Sekunde. In ganz runden Zahlen:

Sonnengeschwindigkeit = 20 Kilometer je Sekunde
= 1200 Kilometer je Minute
= 70 000 Kilometer je Stunde
= 1½ Millionen Kilometer im Tag
= 600 Millionen Kilometer im Jahr.

Im planetaren Maßstab läuft der $1^1/_3$ Meter dicke Sonnenball mit folgenden Geschwindigkeiten dahin: 1 Millimeter je Minute, 7 Zenti-

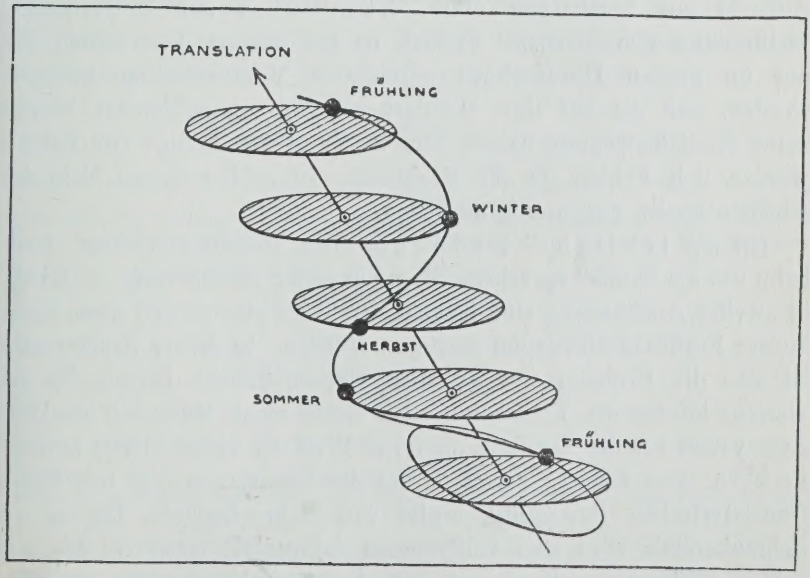


Bild 219. Translation der Sonne. Schraubenbahn der Erde. Erdbahn waagrecht, schraffiert. Schräger Kreis = Äquatorebene.

meter je Stunde, 1½ Meter im Tag und 600 Meter oder 2 Erdbahndurchmesser im Jahr. — Die jährliche Kreisbewegung der Erde um die Sonne setzt sich mit der jährlichen translatorischen Bewegung der Sonne zu einer räumlichen Schraube derart zusammen, daß die Schraubenachse im Winkel von 57 Grad gegen die momentane Erdbahn geneigt ist (Bild 219). Soviel Grad steht der Sonnenapex im Herkules von der Ekliptikebene ab.

(5) Säkulare Parallaxe. Die 600 Millionen Kilometer jährlicher Sonnentranslation betragen etwa 4 astronomische Einheiten, also nicht einmal den 10 000sten Teil einer Lichtmeile. Die nach vielen Lichtmeilen Entfernung zählenden Sterne müssen also eine recht kleine, im allgemeinen verschwindend kleine parallaktische Verschiebung ergeben. Für jeden Stern ist im schmalen Dreieck, in dem der Jahresweg der Sonne die Grundlinie bildet, diese Strecke in Anbetracht der langen Schenkel sehr klein. Verhundertfachen wir jedoch diese Grundlinie, d. h. vergleichen wir einen heute vermessenen Sternort mit dem vor hundert Jahren, dann ist die neue Grundlinie der Weg, den die Sonne im Jahrhundert, einem Säkulum, zurückgelegt hat. Die entsprechende „säkulare" Verschiebung der Sterne hat größere Aussicht auf Meßbarkeit und Verwendbarkeit zur Entfernungsbestimmung von Sternen. Freilich ist bei unserer Überlegung die nur im großen Durchschnitt zutreffende Voraussetzung gemacht worden, daß die auf ihre Säkularbewegung zu prüfenden Sterne keine Spezialbewegung haben. Nur in der großen Menge von Zahlen werden sich Fehler, die die Ergebnisse zu groß oder zu klein erscheinen lassen, gegenseitig aufheben.

(6) „Wirkliche" Erdbahn. Wir können von einer „Erdbahn um die Sonne" sprechen. Sie ist in erster Annäherung ein Kreis, in zweiter Annäherung eine Ellipse. Sie wäre eine solche, wenn nicht äußere Einflüsse Störungen erzeugen würden. In dritter Annäherung ist also die Erdbahn eine gestörte, ellipsenähnliche Kurve. Sie ist viertens infolge der Translation auch dieses nicht, wenn wir das Bezugssystem aus der Sonne in die ferne Welt der vielen Sterne hinausverlegen. Das Kreisen der Erde um die Sonne, vereinigt mit dieser translatorischen Bewegung, ergibt eine Schraubenlinie. Die ganze Schraubenlinie wird aber vollkommen deformiert, wenn — wie wir später erfahren — die Sonne mit den benachbarten Sternen einschließlich derer im Herkules mit 300 Kilometern Sekundengeschwin-

digkeit um einen Punkt hinter den Sternen im Schützen dahinschießt. Ein mechanisches Modell eines Erdbahnstückes würde eine nahezu gerade Linie ergeben, so daß wir endlich diese gerade Linie als „wirkliche" Erdbahn ansprechen müßten, wenn uns auch noch kein Mensch erklärt hat, was das vielgebrauchte Wörtchen „wirklich" eigentlich bedeutet. Es hat alles nur bezüglich einen Sinn.

(7) Radialgeschwindigkeit. Eine aus dem Dopplereffekt bestimmte Geschwindigkeit auf uns zu, die also die Sternentfernung für uns verkleinert, wird als negativ bezeichnet, und die von uns weggerichtete, die also die Sternentfernung vergrößert, als positiv angegeben. Man kann derartige Radialgeschwindigkeiten auf 1 Kilometer genau angeben, was folgendes bedeutet: Wenn z. B. angegeben wird, daß sich Aldebaran im Stier mit 54 Kilometern je Sekunde von uns entfernt, so sind das genau ebenso viele — vielleicht 55 oder nur 53 Kilometer, aber kein Betrag über diese Grenzen hinaus. In der Tabelle „Radialgeschwindigkeiten" sind solche Beträge für die Sterne erster Größe in grober Übersicht zusammengestellt. Die Geschwindigkeiten beziehen sich auf die als ruhend angenommene Sonne. Die Zahlen am Kopf der Tabelle bedeuten Sekundenkilometer. Beträge zwischen -20 und +40 überwiegen in dieser Übersicht. Alpha im Südlichen Kreuz fehlt in der Tabelle. Seine Radialgeschwindigkeit — er besteht aus einem Sternpaar — ist veränderlich.

Radialgeschwindigkeiten

—60	—40	—20	0	+20	+40	+60
	Atair Toliman	Wega Beta (im Zentauren) Sirius Deneb Arkturus Antares Prokyon	Achernar Fomalhaut Pollux Regulus Spika	Kapella Rigel Kanopus Beteigeuze	Aldebaran	

Auf die Sonne bezogen müßten die Radialgeschwindigkeiten aller Sterne nach den Regeln des Zufalls oder der Wahrscheinlichkeit insofern gleichmäßig verteilt sein, als sich die von der Sonne weg ge-

richteten Geschwindigkeiten und die auf sie zustrebenden ausgleichen, aufheben. Dies ist auch bei den Sternen aller Spektraltypen bis auf die A- und B-Sterne der Fall. Bei den A-Sternen überwiegt eine gerade noch feststellbare nach außen gerichtete Tendenz. Bei den B-Sternen ist diese sehr groß. Sie scheinen bis zu einer gewissen Entfernung hinaus mit einer Sekundengeschwindigkeit von 5 Kilometern von der Sonne weg zu fliehen. Man nennt diese Erscheinung den K-Effekt. Dabei wächst dieser mit wachsender Sterndistanz. Es ist nicht sicher, ob diese Erscheinung als reiner Radialeffekt, wie es schon geschah, oder vielleicht als Expansionseffekt zu deuten ist oder ob die Linienverschiebungen in den B-Spektren durch noch unbekannte Verhältnisse in der Atmosphäre dieser Sterne zu deuten sind.

(8) Totalgeschwindigkeit. Die auf Kilometer je Sekunde umgerechnete Eigenbewegung, die wir tangentiale Eigengeschwindigkeit nennen wollen, und die Radialbewegung stehen senkrecht aufeinander (Bild 220) und setzen sich zur Totalgeschwin-

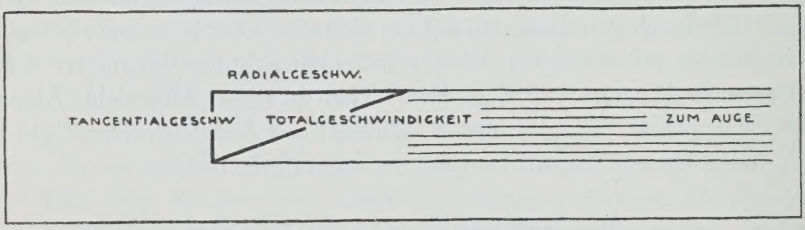


Bild 220. Radial- und Tangentialgeschwindigkeit setzen sich zur Totalgeschwindigkeit eines Sternes zusammen.

digkeit zusammen, die entweder auf die Sonne oder auf das „Ganze" der in Betracht kommenden Sternmenge bezogen werden. Wir schließen die Translation der Sonne aus. Man hat statistisch bei 63 Kilometern Geschwindigkeit eine auffällige Grenze feststellen können und demgemäß normalbewegte und rasche Sterne unterscheiden können. Die normalbewegten Sterne weisen keine besondere Anordnung auf, die raschen dagegen finden sich häufiger unter den roten, als unter den weißen Sternen und bevorzugen bestimmte Richtungen. Die Zusammenstellung „Raschbewegte Sterne" gibt für jede Spektralklasse den Prozentanteil der raschen Sterne innerhalb der betreffenden Klasse an. Es sind hiernach z. B. etwa die Hälfte der M-Sterne rasche, während es unter den A-Sternen sozusagen keine solchen gibt.

Raschbewegte Sterne

Spektrum	B	A	F	G	K	M
Prozente der Sterne innerhalb einer Spektralklasse	½	0	3	18	24	49

Fünf besonders rasche Sterne 8. und 9. Größe besitzen Geschwindigkeiten von rund 400, in einem Fall sogar von 1000 Kilometern je Sekunde. — Zwischen der Totalgeschwindigkeit der Sterne und deren absoluter Größe besteht ein Zusammenhang, der dann übersichtlich erscheint, wenn man wie in unserem Diagramm Bild 221 die Ge-

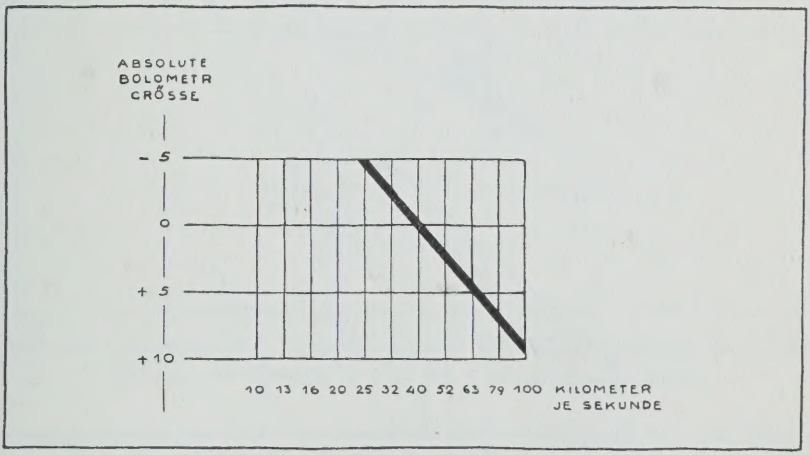


Bild 221. Sterne haben umso größere Geschwindigkeiten, je schwächer sie, absolut genommen, leuchten.

schwindigkeiten zwischen 10 und 100 multiplikativ derart zählt, daß jede Zahl das 1,25fache der unmittelbar vor ihr befindlichen bedeutet. Der Zusammenhang ergibt dann graphisch eine gerade Linie, ist also „linear". Die Breite des schrägen schwarzen Streifens entspricht ungefähr den kleinen Abweichungen von diesem Gesetz. Da nun mit der absoluten Größe vieler, besonders der absolut schwachen Sterne das Spektrum zusammenhängt, so besteht infolge des eben geschilderten Gesetzes auch zwischen Geschwindigkeit und Spektrum ein Zusammenhang, der dazu gedient hat, das Problem des „Sternalters" anzugreifen, dem ein Kapitel im vorletzten Abschnitt gewidmet ist.

(9) Hyadenproblem. Im Gesamtbilde der Sternverteilung

fallen uns, wenn wir von der teleskopischen Anhäufung im Milchstraßengürtel absehen, Stellen auf, an denen Sterne etwa gleicher scheinbarer Größe eng beisammen stehen, jedenfalls unvergleichlich enger, als es nach den Überlegungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung sein sollte. Der sechste Abschnitt ist ganz solchen Sternhaufen gewidmet. Hier soll uns nur deren Bewegung beschäftigen. Wir greifen als Beispiel die Hyaden auf, das sind die Sterne im Stierkopf mit Ausnahme des hellen Aldebaran. — Ähnlich wie bei den Perseiden die Radiation aus einem bestimmten Punkt nur eine perspektivische Erscheinung ist, die parallel dahineilende Körper erzeugen, ist auch die in Bild 222 angedeutete gemeinsame Bewegung der Hyadensterne im

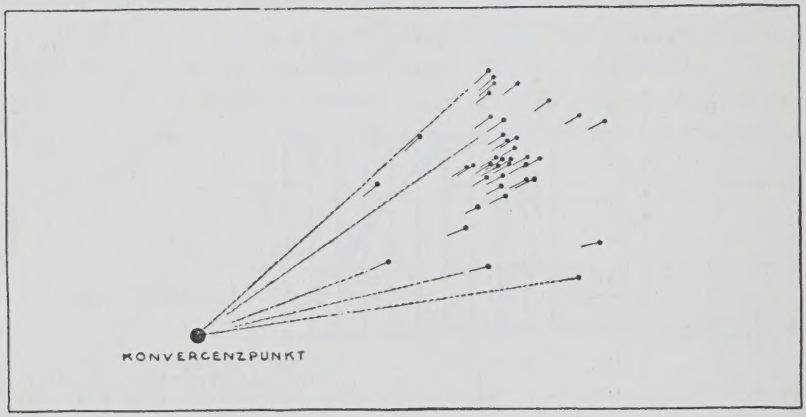


Bild 222. Hyadenstrom. Jeder Punkt eine Hyade. Die Striche geben Richtung und Größe der Geschwindigkeit an. Konvergenzpunkt wird in 65 Millionen Jahren erreicht.

Stier nur gleichsam das Abbild paralleler, zum sogenannten Konvergenzpunkt zeigender Sternwege. Jede Stecknadel im Bild zeigt mit der Spitze auf diesen in der Nähe der Beteigeuze befindlichen Punkt, in dem sich die Hyadensterne in Anbetracht der Kleinheit ihrer jährlichen Bewegungen erst nach rund 65 Millionen Jahren vereinigen und dann einen engen, gedrängten Sternhaufen abgeben dürften. In Bild 223 ist eine einzige Hyade als Vertreterin der übrigen in zwei Lagen wiedergegeben, für 1932 und für 1933. Den Sternort soll die Kreismitte des mit der Jahreszahl beschrifteten Kreises darstellen. — Die „Eigenbewegung" (schwarzer Winkel) ist meßbar. Die Verbindung 1932 - 1933, der wirkliche Jahresweg der Hyade, weist in ihrer

Verlängerung ebenso zum Konvergenzpunkt, wie die von der Erde weg gerichtete, nach links oben gehende Linie. Der gestrichelte Winkel (Bild 223) ist meßbar, denn er bedeutet den Bogenabstand zwischen der Hyade 1932 und dem unweit der Beteigeuze liegenden Konvergenzpunkt. — Kennen wir aber auf der Erde den gestrichelt ge-

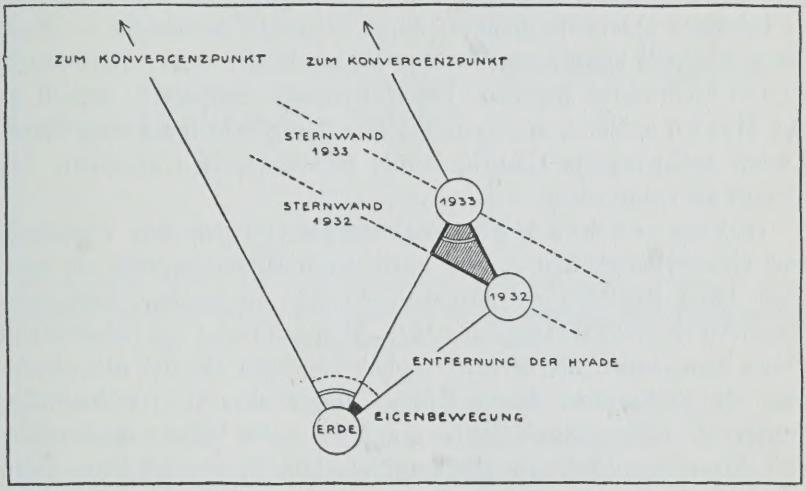


Bild 223. Erklärung des Hyadenproblems: Entfernungsmessung an Sternströmen. Als Sternörter sind die Kreismitten zu denken.

zeichneten Bogen und den schwarz gefärbten Winkel, d. h. die Eigenbewegung, dann ergibt der Unterschied den zweimal gestrichenen Winkel auf der Erde. Wir betrachten hierauf das schraffierte rechtwinkelige Dreieck. Dies soll dadurch entstanden sein, daß wir durch die beiden Sternörter im Weltenraum zwei zueinander parallele gedachte „Sternwände" senkrecht zur Linie „Erde - 1933" legten. Die kleine Kathete des schraffierten Dreieckes, also der gegenseitige Abstand der beiden Sternwände, bedeutet aber den Betrag des eigentlichen Wegrückens vom Beobachter, das mit Hilfe des Dopplerschen Prinzips bestimmt werden kann, denn wir brauchen nur die gemessene Radialgeschwindigkeit mit der Anzahl der Sekunden im Jahr zu multiplizieren.

Im schraffierten Dreieck kennen wir aber nun außer dem rechten Winkel und der nun bekannten kleinen Kathete noch den zweimal gestrichenen Winkel als Parallelwinkel zum zweimal gestrichenen

Winkel auf der Erde. Im schraffierten Dreieck sind also drei Stücke bekannt. Wir können folglich alles übrige, z. B. auch die große Kathete berechnen. Diese ist aber im schmalen Dreieck zwischen Erde und vorderer Sternwand die Querseite, die wir dem Produkt „Längsseite mal Arcuszahl der Eigenbewegung" gleichsetzen können. Aus dieser Gleichsetzung folgt dann: Längsseite oder Hyadendistanz = bekannte Querseite dividiert durch bekannte Arcuszahl. — Nach dieser Methode konnte man für den Hyadenhaufen dessen Entfernung zu 120 Lichtmeilen angeben. Die Entfernung Aldebarans, optisch zu den Hyaden zählend, in physischer Beziehung jedoch ein vom Sternhaufen unabhängiges Gestirn, wurde trigonometrisch ermittelt. Sie beträgt 54 Lichtmeilen.

(10) Geschwindigkeitskugel. Um sich über Verteilung von Geschwindigkeiten sowohl nach deren Kilometergröße als auch nach deren Richtung ein anschauliches Bild zu machen, kann man folgenden Gedankenversuch anstellen. Man schneidet aus jedem der in Frage kommenden Sterne einen mohnkorngroßen Würfel aus, gleichsam als Probestück. Diese Körner sollen aber die merkwürdige konservative Eigenschaft besitzen, daß sie, wohin immer versetzt, die von ihrem eigenen Stern gleichsam geerbte Geschwindigkeit, wenn keine Hindernisse da sind, in alle Ewigkeit der Größe und der Richtung nach beibehalten und ausüben können. Wenn also ein Stern, aus dem wir ein Probekorn ausschneiden, eine Sekundengeschwindigkeit von 17 Kilometern gegen den Frühlingspunkt hat, dann soll es diese Richtung und die 17 Kilometer beibehalten, d. h. diese Geschwindigkeit stets ausüben können, wenn kein Widerstand da ist, wenn es nicht z. B. etwa „eingesperrt" ist. Nun entnehmen wir 600 Sternen aus der Gegend der Krippe im Krebs, auch Präsepe genannt, derartige Probestücke, 600 Sternkörner, und halten sie in der geballten Faust fest, die in der Mitte des Achsenkreuzes im Bild 224 zu denken ist. — Öffnen wir die Faust punkt 12 Uhr mittags, dann fliegen die Sternkörner mit der ihnen immanenten Richtung und Geschwindigkeit weg, so daß sie 1 Sekunde nach 12 Uhr zwei Kugeln, eine große „zu Haus gebliebene" und eine kleine weggeeilte, bilden. Die 400 Sternkörner der großen Kugel haben nur eine Geschwindigkeit bis zu 0,02 Bogensekunden, die 200 der kleinen Kugel eine solche von 0,03 bis 0,04 Bogensekunden. Diese letzteren haben eine gemeinsame eigene Bewegung und bedeuten die tatsächlichen Präsepesterne, deren

physische Zusammengehörigkeit aus der klar vorliegenden systematischen Bewegung erwiesen ist. Die große Kugel zeigt die relativ geringeren rein nach Zufall, also kugelig angeordneten Geschwindig-

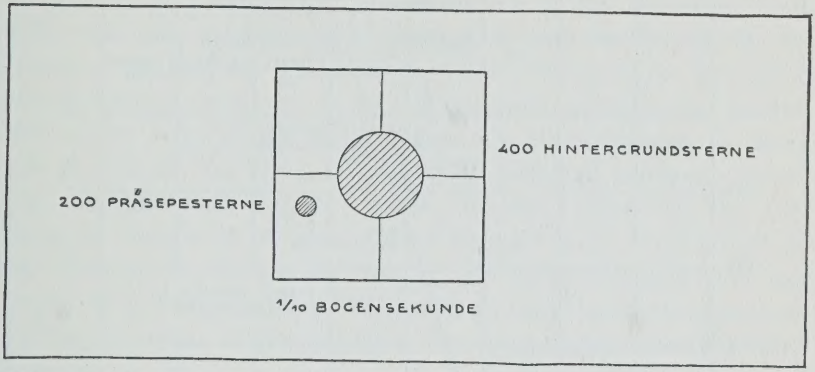


Bild 224. 200 Sterne in der Präsepe oder Krippe zeichnen sich durch besondere Eigenbewegung aus.

keiten der „Hintergrundsterne", weit hinter denen in der Krippe. Man nennt solche, durch obigen Gedankenversuch erzeugt gedachte Kugeln oder andere Gebilde Geschwindigkeitsfiguren. Wir können von Geschwindigkeitsellipsoiden sprechen, wenn die entsprechenden Geschwindigkeiten in den verschiedenen Achsenrichtungen nach den Gesetzen des Ellipsoides angeordnet sind.

(11) Ellipsoidische Verteilung. Werden die Geschwindigkeiten der Sterne verschiedener Typen, ebenso auch die anderer Himmelsobjekte, wie der Kugelhaufen und der Spiralnebel in ähnlicher Weise, wie wir es eben mit den Präsepesternen machten, graphisch aufgetragen, so offenbaren sich auffällige Erscheinungen. Sie sollen auf Grund des Bildes 225 erklärt werden. Die Papierebene des Bildes stellt die Milchstraßenebene dar. Im Schnittpunkt der mit o—o bezeichneten Linien ist die Sonne zu denken, auf die alle Geschwindigkeiten bezogen werden. Die Zahlen am Rand des Bildes bedeuten Kilometer. Die von links nach rechts gehende o-Linie weist in die Richtung des Adlers, zum galaktischen Nullpunkt, die von unten nach oben gehende o-Linie zur Kassiopeia. Die sämtlichen runden Figuren sind Projektionen auf die Milchstraßenebene. Da die Erhebung dieser Geschwindigkeitskörper von der Milchstraßenebene relativ gering ist, und auch deren Ausdehnung in der Richtung senkrecht zur Milch-

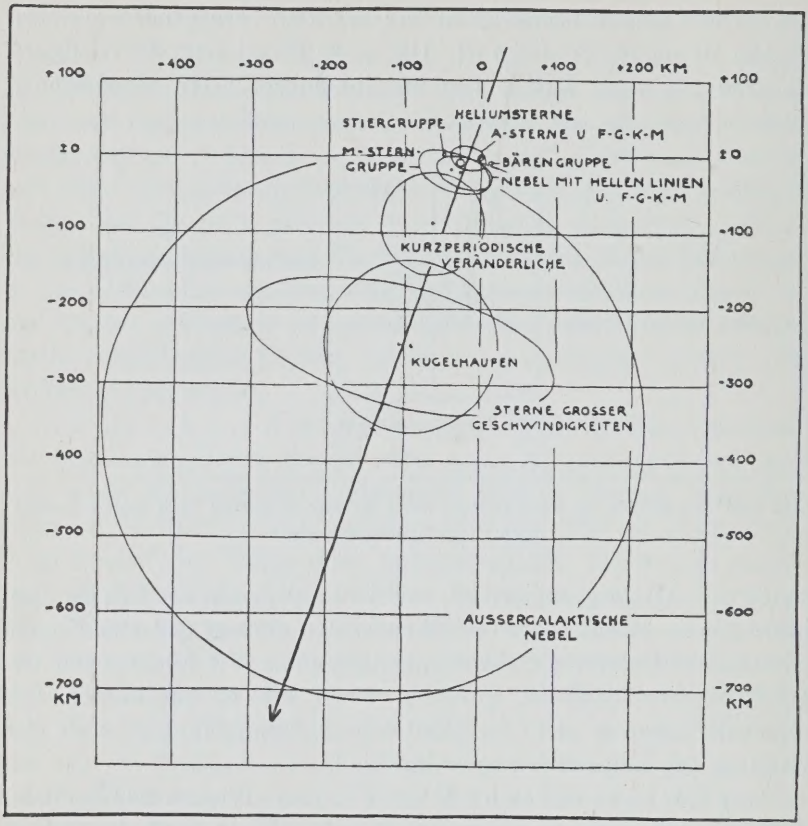


Bild 225. Asymmetrie kosmischer Geschwindigkeiten

straßenebene keine auffällige ist, so kann unser Bild auch eine ausreichende Veranschaulichung der räumlichen Bewegungsverhältnisse geben. Bisher noch nicht beschriebene Objekte in Bild 225 werden in den folgenden Abschnitten ausführlich erklärt. Sie haben verschieden große „Streuung", die größte die Kugelhaufen und Spiralnebel, die im Bild als außergalaktische bezeichnet sind. Überaus auffällig ist die Tendenz, eine bestimmte Richtung zu bevorzugen, im Bild abwärts, also von der Kassiopeia weg. Diese „Asymmetrie" der großenteils ellipsoidischen Geschwindigkeitsverteilung zeigt eine deutliche Bevorzugung einer bestimmten Richtung. Die beiden sogenannten Kapteynschen Sternströme mit den Richtungen gegen Orion

(6.15 + 13) und genau entgegengesetzt gegen den Schild (18.15 - 13) sind im wesentlichen nur hervorragende Beispiele der in Bild 225 veranschaulichten Geschwindigkeitsverhältnisse.

(12) Verschiedene Sternströme. Als Sternstrom kann außer den eben erwähnten Erscheinungen und der Bewegung der Hyaden und der der Präsepesterne jede systematische Bewegung ganzer Sterngruppen oder engerer Sternhaufen angesprochen werden. Wir zählen einige solcher Ströme, bzw. die Sternbilder auf, in denen sich die Glieder des Stromes ganz oder zum Teil befinden: Großer Bär, Skorpion und Zentaur, Orion, Perseus, Plejaden, Haar der Berenike, Messier 67 im Sternbild des Krebses, Leier, Krone, Einhorn und Schwan. Es werden uns manche von diesen Gruppen nicht bloß wegen ihrer Bewegungen, sondern auch als sonst physisch zusammengehörige Systeme in den Kapiteln über Sternhaufen besonders interessieren.

VIERTER ABSCHNITT
VERÄNDERLICHE UND DOPPELSTERNE

Veränderlichkeit / Einteilung der Veränderlichen / Zepheiden / Zepheidengesetz / Entfernung der Zepheiden / Natur der Zepheiden / Langperiodisch Veränderliche / Neue Sterne / Novahypothesen / Finsternissterne / Begriff Doppelstern / Doppelsternkategorien / Doppelstern Sirius / Doppelstern Kapella / Entfernungsbestimmung bei Doppelsternen / Mehrfache Sterne

(1) Veränderlichkeit. Man könnte den Begriff der Veränderlichkeit auf die verschiedensten Äußerungen eines Sternkörpers anwenden. Es kann eine Änderung in der Gesamtstrahlung des Sternes stattfinden, Änderungen in der Intensität seiner Spektrallinien, Änderungen in der Temperatur der Strahlung, die man an der Verlagerung des wirksamsten Teiles im Spektrum erkennt (Bild 155) und schließlich Änderungen der radialen Geschwindigkeiten. Wir wollen uns im großen und ganzen nur auf die Betrachtung der Helligkeitsschwankungen beschränken. — Bei manchen Sternen kann diese Veränderlichkeit auch mit freiem Auge erkannt werden und die Anzahl der „veränderlichen Sterne" oder, wie man sich kürzer ausdrückt, der „Veränderlichen", wächst umsomehr, je mehr die Geräte und Methoden zum Erkennen auch der geringsten Helligkeitsschwankungen vervollkommnet werden. Im allgemeinen werden nur Sterne, bei denen der Unterschied zwischen größter und kleinster Helle größer ist als $^1/_{10}$ einer Größenklasse, als Veränderliche katalogisiert, doch sind auch solche von geringerer Schwankung interessant. Je nach der Schwankung der Größenklasse und der Art und dem Verlauf des Lichtwechsels, ob regelmäßig wiederkehrend oder regellos, ob rasch oder langsam, werden die nach Tausenden zählenden Veränderlichen in verschiedene Kategorien eingeteilt. Wüßten wir in jedem Fall die physikalische Ursache des Lichtwechsels und der verschiedenen Äußerungen desselben, so wäre eine objektive Einteilung der Veränderlichen möglich. Da wir jedoch zur Erklärung dieser Erscheinungen großenteils auf bloße Vermutung angewiesen sind oder überhaupt

Rätseln gegenüberstehen, ist es geboten, eine Einteilung nach äußerlichen Gesichtspunkten vorzunehmen. Wir nähern uns einem natürlichen Schema, wenn wir eine Sternart, die man mitunter auch mit den Veränderlichen gemeinsam behandelt, für den Zweck einer Klassifizierung aus deren Bereich ausschalten. Es sind dies die sogenannten Bedeckungsveränderlichen, deren regelmäßiger Lichtwechsel durch das Kreisen eines Sternes um einen zweiten und vorübergehende ganze oder teilweise Bedeckung des zweiten hervorgerufen wird — so daß man sie auch Finsternissterne nennen kann — ohne daß es selbst im stärksten Fernrohr möglich wäre, die einzelnen Teile, Komponenten, visuell oder photographisch als Lichtpunkte voneinander zu trennen.

(2) Einteilung der Veränderlichen. Nach der Art des Lichtwechsels bestehen zwei große Kategorien, die periodisch und die nichtperiodisch Veränderlichen, die dann noch weitere Unterteilungen bieten:

Periodisch Veränderliche:

I. Kurzperiodische:
   1. Haufenveränderliche oder kurzperiodische Zepheiden: Periodenlänge bis 1 Tag;
   2. typische Zepheiden: 1 bis 10 Tage;
   3. andere Kurzperiodische: 10 bis 60 Tage.

II. Langperiodische:
   Periode um 300 Tage herum.

Nichtperiodisch Veränderliche:

1. unregelmäßige;
2. temporäre oder Neue Sterne.

Die Namen der Veränderlichen werden gewöhnlich aus Sternbild und einem oder zwei großen lateinischen Buchstaben, wie z. B. „R im Bootes, TU im Eridanus“ zusammengesetzt.

(3) Zepheiden. Die Zepheiden haben ihren Namen von einem ihrer vielgenannten Vertreter, Delta Cephei im Sternbilde des Cepheus oder Kepheus. Der Lichtwechsel dieses Sternes (Bild 226) ist durch raschen Anstieg und langsamen Abstieg, auch durch gewisse Schwankungen im Abstieg, gekennzeichnet. Die Periode des Lichtwechsels beträgt etwa fünf Tage, scheint im übrigen von Jahr zu Jahr gerade noch merklich abzunehmen. Das Maximum der Helligkeit hat

Größenklasse $+3{,}3$, das Minimum $+4{,}1$. Die Schwankung beträgt somit 0,8 Größenklassen. Die als Einzelsterne vorkommenden Zepheiden zeigen alle ähnlichen Lichtverlauf, doch mit verschieden großer Periode und verschieden großer Schwankung. Man nennt sie insbe-

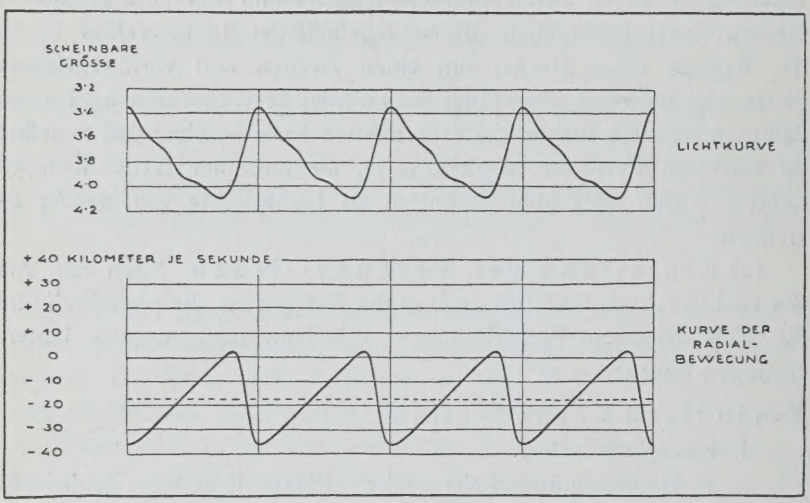


Bild 226. Lichtkurve des Sternes Delta im Kepheus. Periode 5 Tage. Unten: Kurve der Radialbewegung. Mediallinie gestrichelt

sondere „typische" Zepheiden, im Gegensatz zu den Haufenzepheiden oder Haufenveränderlichen kürzerer Periode, die fast ausnahmslos in Sternhaufen, besonders in den kugelförmigen Haufen vereint sind. Freilich gibt es auch kurzperiodische Zepheiden außerhalb der Haufen, die ohne weiteres mit den typischen Zepheiden verglichen werden können. Trotz aller Unterschiede scheinen die Zepheiden sämtlich physisch gleichartige Sterne zu sein. Wir stellen Seite 465 die immerhin auffälligen Unterschiede tabellarisch zusammen.

(4) Zepheidengesetz. Mit dem Namen Zepheidenproblem bezeichnet man gewöhnlich nicht etwa die Frage nach der Natur des merkwürdigen regelmäßigen Lichtwechsels, sondern die Aufgabe, aus dem Verhalten des Lichtwechsels auf die absolute Größe des beobachteten Zepheidensternes und somit mit Hilfe des Entfernungsmoduls auf die Entfernung des Sternes zu schließen. Man konnte zunächst aus scheinbarer Helligkeit und entweder trigonometrisch oder aus Eigenbewegung abgeleiteter Entfernung absolute Größen be-

Großer Andromedanebel (Yerkessternwarte)

Spiralnebel im Großen Bären (Mount Wilsonsternwarte)

Zepheiden	kurzperiodische	typische
Periode	um ½ Tag	um 1 Woche
Scheinbare Größe	nie heller als 7	teils mit freiem Auge sichtbar
Absolute Größe	0	—2
Verteilung	ganzer Himmel	Milchstraße bevorzugt
Durchschnittliche Entfernung	3000 Lichtmeilen	800 Lichtmeilen
Eigenbewegung	relativ groß	relativ klein
Spezielle Bewegung	um 70 km/sec	um 12 km/sec
Spektrum	A und F	F und G

stimmen, verglich dann die Längen der Lichtwechselperioden der einzelnen Sterne mit deren absoluter Größe und fand einen auffälligen und klaren, bis heute allerdings physikalisch noch keinesfalls erklärten Zusammenhang. daß nämlich die wirkliche Helligkeit umso größer ist, je länger die Lichtwechselperiode dauert. In Bild 227 sind

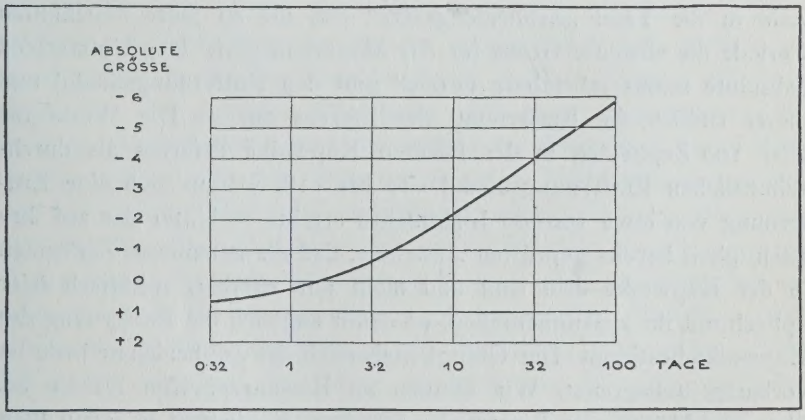


Bild 227. Zepheidengesetz. Zu einer bestimmten Periode des Lichtwechsels gehört eine bestimmte absolute Größe. Tage sind multiplikativ gezählt.

unten die Perioden in Tagen, multiplikativ gezählt, aufgetragen. Jede Zahl ist das 3,16fache der links vorhergehenden. Links sind die photographischen absoluten Größen des Helligkeitsmaximums angegeben. Die leicht gebogene Linie gibt den statistisch verbürgten, also rein

erfahrungsgemäßen Zusammenhang zwischen Periode und absoluter Größe, den wir das Zepheidengesetz nennen. Für die Periode von 32 Tagen lesen wir beispielsweise ab: absolute Größe „-4". Dies besagt, daß Zepheiden mit der Periodendauer von 32 Tagen Sterne der sehr bedeutenden absoluten Größe „-4", also ausgesprochene Riesen sind. Wie dann bei gegebener absoluter Größe die Entfernung ermittelt wird, ist im zweiten Abschnitt ausführlich geschildert worden. Da zwischen absoluter Größe der Sterne und Farbenindex ein durchschnittlicher Zusammenhang besteht und ebenso ein, wenn auch eingeschränkter, zwischen absoluter Größe und Spektrum, so folgt auf Grund des Zepheidengesetzes, daß auch Periode und Farbenindex sowie auch Periode und Spektrum der Zepheiden gewisse Zusammenhänge zeigen.

(5) Entfernung der Zepheiden. Da wir die bisher widerspruchsfreie Annahme machen dürfen, daß das Verhalten relativ näherer, unseren Messungen zugänglicher Zepheiden kein anderes ist, als das sehr weit entfernter, besteht für die Entfernungsbestimmung folgende Regel: Man bestimmt die scheinbare Größe des Maximums, mißt die Periode von Maximum bis Maximum, geht mit dieser Zahl in die Tafel „Zepheidengesetz" ein, die zu jeder bestimmten Periode die absolute Größe für das Maximum gibt. Der Unterschied „absolute minus scheinbare Größe" gibt den Entfernungsmodul und dieser endlich die Entfernung des Sternes an. — Die Werte für über 100 Zepheiden in der Kleinen Kapwolke lieferten als durchschnittlichen Entfernungsmodul -17 bis -18, woraus sich eine Entfernung von etwa 100 000 Lichtmeilen ergibt. — Unter der auf ihre Richtigkeit bereits geprüften Annahme, daß die genannten Zepheiden in der Kapwolke drin sind und nicht nur zufällig, sphärisch oder optisch mit ihr zusammenfallen, ist damit zugleich die Entfernung der Kapwolke bestimmt. Der Gültigkeitsbereich der Zepheidenmethode ist vorläufig unbegrenzt. Wir können an Riesenzepheiden Räume bis über eine Million von Lichtmeilen erfassen. Freilich ist es, wenn auch der Verlauf der Zepheidenkurve im Bild im großen und ganzen sicher ist, durchaus möglich, daß eine weiter fortgeschrittene Statistik eine Parallelverschiebung der Kurve nach oben oder unten, vielleicht später auch eine etwaige Änderung ihrer Steilheit sowie eine Formveränderung ergeben wird. Unsere Kurve ist einer umfassenden Monographie entnommen.

(6) Natur der Zepheiden. Die Zepheiden sind ausgesprochene Giganten oder Übergiganten. Wenn wir das Unbehagen gegenüber hypothetischen Zahlen unterdrücken, so dürfen wir setzen: Sonne = 3000 Quadrillionen Kerzen, 2-Tag-Zepheiden = 1 Quintillion Kerzen, 10-Tag-Zepheiden = 5 Quintillionen Kerzen, 100-Tag-Zepheiden = vielleicht 200 Quintillionen Kerzen. Die angeführten Sterne überbieten also die Sonne 300- bis 70 000fach. — Über die innere Ursache des immer nach gleichen Regeln vor sich gehenden Lichtwechsels und des eindeutigen Zusammenhanges zwischen Periodenlänge und absoluter Größe sind wir uns im Unklaren, doch geben spektrale Beobachtungen einige Fingerzeige. Der Darstellung der Radialgeschwindigkeit des Sternes Delta Cephei (Bild 226) entnehmen wir folgendes: Die negativen Geschwindigkeiten überwiegen, der Stern bewegt sich also auf uns zu. Die Kurve ist durch eine waagrechte punktierte Linie, die Mediallinie, der die Zahl - 15,2 Kilometer entspricht, derart geteilt, daß Maximum und Minimum von ihr gleich weit abstehen. Der Stern bewegt sich im großen und ganzen mit diesen rund 15 Sekundenkilometern Geschwindigkeit auf uns zu. Dabei kann das Auf und Ab der Kurve derart gedeutet werden, daß sich der Schwerpunkt des Sternes uns zwar kontinuierlich nähert, daß aber die Oberfläche des Sternes sich aufbläht und wieder zusammenzieht, so daß der Stern regelrecht pulsiert. Beim Aufblähen, wenn also die sichtbare Oberfläche sich gegen uns bewegt, die Radialgeschwindigkeit negativ ist, müßte der Stern nach dieser Auffassung relativ hell sein und wieder beim Zusammenschrumpfen, also bei positiver Radialgeschwindigkeit, relativ lichtschwächer sein, was sich bei dem Vergleich der beiden Kurven in Bild 226 zunächst ergibt. Nach der allgemeinen Theorie der Gaskugeln aber — jeder Stern ist ja, wie die Sonne, ein regelrechter Gasball — soll gerade bei größter Kompression die Strahlung nach außen einen Höchstwert erhalten. Es müßte demnach dem Höchstwert in der oberen Kurve ein höchster Punkt in der unteren Radialkurve entsprechen, was ganz und gar nicht der Fall ist. — Dem Widerspruch entgehen wir, wenn wir die Kompression und Expansion eines Sternes ganz im Inneren desselben vor sich gehen lassen, so daß bei Berücksichtigung verschiedener atomarer Vorgänge und der Art der Energieübertragung von innen nach außen es recht wohl möglich ist, daß mit einer Kompression im Inneren ein äußerliches Aufblähen

Hand in Hand geht, so daß einer Verdichtung im Inneren eine größere Lichtentwicklung im Sinne der Lichtkurve entspricht. Die Lösung dieses Problems ist jedenfalls noch nicht spruchreif.

(7) Langperiodisch Veränderliche. Für diese kommen zwei Monate und zwei Jahre als untere und obere Grenze der Periode in Betracht, doch sind die Grenzen durchaus nicht klar gezogen. Die meisten Langperiodischen gruppieren sich, wie das Bild 228 zeigt, um die Zahl von 300 Tagen. Während die Kurzperio-

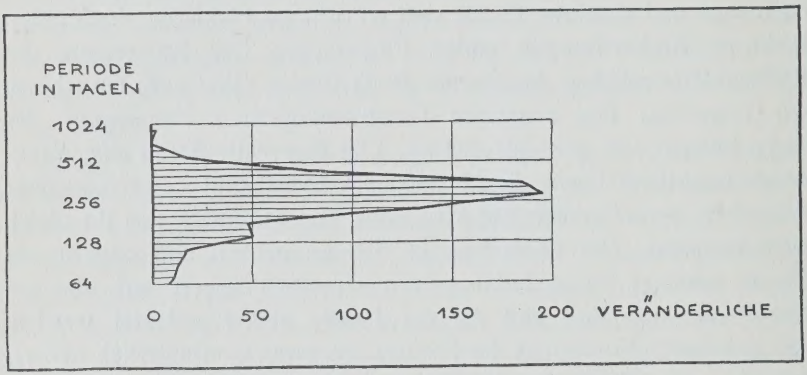


Bild 228. Statistik der langperiodisch Veränderlichen hinsichtlich ihrer Periodenlänge. Maximum bei etwa 300 Tagen

dischen eine Helligkeitsschwankung von ein, zwei Größenklassen aufweisen, kommen bei den Langperiodischen mittlere von 4 oder 5 Größenklassen und darüber vor. Die Sterne sind im Maximum absolut helle Objekte mit schwankender niedriger Temperatur von etwa 2000 bis 4000 Grad Kelvin. Die Spektren gehören dem M-Typ an. In der Nähe des Maximums erscheinen fast regelmäßig helle Wasserstofflinien, die wohl auf Ausbrüche aus dem Sterninneren deuten. Im übrigen ist uns die Natur dieser vielleicht pulsierenden Langperiodischen noch verborgen. — Ein typischer Vertreter dieser Sternkategorie ist Mira im Walfisch, der „Wunderstern". Die Periode seines Lichtwechsels, die allerdings einen solchen Namen wegen ihrer Unregelmäßigkeit nicht ganz verdient, schwankt zwischen 320 und 370 Tagen. Man kann 11 Monate als Durchschnitt nehmen, so daß die beste Sichtbarkeit, die ungefähre Zeit des Maximums, jedes folgende Jahr um einen Monat früher zu erwarten ist. Die Größenklasse des

Sternes kann bei dessen Minimum bis zu 9 werden. Das Maximum stieg schon bis zur zweiten und liegt im Mittel zwischen der dritten und vierten Größenklasse. Das veränderliche Miraspektrum, im allgemeinen Typus M, weist beim Maximum die oben erwähnten hellen Wasserstofflinien auf. Kaum 1 Bogensekunde von Mira entfernt

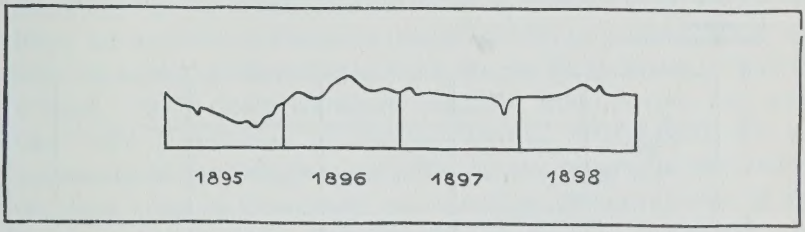


Bild 229. Lichtkurve des Granatsternes im Kepheus. Unregelmäßiger Verlauf

befindet sich ein Stern ständig 10. Größe, der mit Mira dieselbe Eigenbewegung hat und zweifellos mit Mira zusammen ein physisches System bildet. — Bild 229 zeigt die Lichtkurve eines unregelmäßig Veränderlichen.

(8) Neue Sterne. Ein neuer Stern — eine Nova — soll mit dem ihm verliehenen Namen in uns keineswegs den Eindruck erwecken, daß er aus dem Nichts entstehen könne. An einer Stelle des Himmels, wo vorher nichts bemerkt wurde, oder die einfach übersehen wurde, erschien gelegentlich und ganz plötzlich ein Stern erster und noch hellerer Größenklasse. — Die Geschichte astronomischer Wissenschaft weiß von manchen geradezu imposanten Erscheinungen zu berichten. Unter den Neuen Sternen dieses Jahrhunderts ragen drei besonders hervor, der Neue Stern im Perseus 1901, dann einer aus dem Jahre 1918 im Adler und, für unsere Gegend nicht sichtbar, einer 1925 im Bildhauer. Die drei Sterne werden gewöhnlich Nova Persei, Nova Aquilae und Nova Pictoris genannt. Ein solcher Neuer Stern verblaßt nach anfänglich auffälligster Entfaltung verhältnismäßig rasch, in Tagen und Wochen, und ist dann bestenfalls noch als teleskopischer Punkt zu erkennen. Die äußere Erscheinung eines Neuen Sternes kann aus der Lichtkurve der Nova Pictoris in Bild 230 beurteilt werden. Die Nova wurde in Südafrika am 25. Mai 1925 entdeckt. Sie hatte die scheinbare Helligkeit 1. Diese sank dann fortwährend schwankend rasch unter die dritte Größe, um sich wieder zur

zweiten zu erheben. Bis Ende 1925 ging eine deutliche Abnahme vor sich. Im Jahre 1926 war die Lichtabnahme etwas geringer, ebenso 1928 und 1929, während 1927 eine Verzögerung der Helligkeitsabnahme, ja sogar eine deutliche Zunahme zu verzeichnen war. Ende 1929 war der Stern, seit Ende 1926 nur noch im Fernrohr sicht-

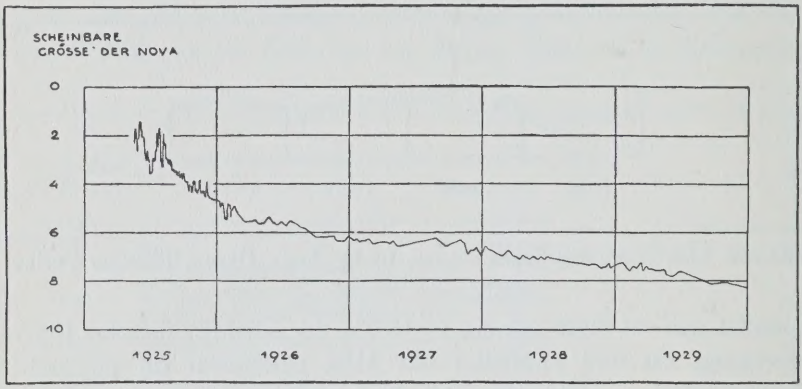


Bild 230. Lichtkurve der Nova Pictoris 1925

bar, schwächer als 8. Größe. Auf einer 42 Tage vor dem 25. Mai gemachten photographischen Aufnahme wurde der Stern als genau 3. Größe nachträglich aufgefunden, während man auf noch früheren Platten keinerlei Spuren fand.

(9) Novahypothesen. Die Natur der Neuen Sterne ist uns unbekannt. Wo aber ein hartnäckiges Rätsel da ist, da wachsen Hypothesen aus dem Sand. Nur als Kuriosum führen wir in Schlagworten 15 Ideen an, um deren jede sich eine oder gar mehrere Hypothesen bildeten: Kondensation, Fleckenbildung, Explosion, Verbrennung, atomare Veränderung, gegenseitige Annäherung, Aufblähen und Zerplatzen, Kollision mit einem Kometen, mit einem Planeten, mit einem Meteorschwarm, einem Gasnebel, Kollision zweier Meteorschwärme, zweier fester Körper, schließlich Reibung zweier Körper und Bildung eines dritten, Zusammenstoß eines Planeten mit seiner Sonne. — Unter der Voraussetzung atomarer Ursachen ist auch die Annahme schon diskutiert worden, daß der Novazustand möglicherweise jedem Stern einmal in dessen Leben begegnet, daß also die Neuen Sterne keine besondere Sternklasse, sondern eine einmalige Katastrophe eines Sternes darstellen. Wie sich die Entwicklung eines Sternes

bis zu einem solchen instabilen Zustand vollzieht und welche Momente den Ausschlag zur rapiden Lichtentfaltung geben, ist noch allerdings, wie schon gesagt, ein Rätsel. Helle ringförmige Streifen um einen Neuen Stern, deren Halbmesser sich immer vergrößerte, wurden so erklärt, daß diese hellen Stellen reflektiertes Licht der Nova an einem umgebenden Medium bedeuten und das konzentrische Auseinandergehen der hellen Streifen nichts anderes darstelle, als daß infolge der begrenzten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes allmählich immer größere Kugelräume um die Nova herum erleuchtet würden. Nach dieser Annahme leuchten Neue Sterne, mit einer Gas- oder Nebelmasse zufällig kollidierend, ebenso auf, wie die Meteoriten in der irdischen Lufthülle. Wenn diese Annahme erlaubt ist, dann könnten Übergänge von normalen Sternzuständen in den Novazustand auf solche Gegenden des Weltraumes beschränkt sein, in denen sich dunkle Nebelmassen befinden. Wir haben bisher von der Erwähnung Neuer Sterne in fernen Spiralnebeln abgesehen. Sie werden uns im achten Abschnitt interessieren.

(10) Finsternissterne. Es sind optisch Veränderliche. Sie werden meist Bedeckungsveränderliche genannt, weil sich bei ihnen ein relativ dunklerer Stern beim Umlauf um einen anderen gelegentlich vor diesen schiebt, so daß wir jedesmal bei einem bestimmten Minimum dieser Veränderlichen eine Art partieller oder totaler Sonnenfinsternis erleben, allerdings keine Verfinsterung des G-Sternes, der nur 8 Lichtminuten von uns entfernt ist, sondern eine Bedeckung jener Zentralsterne in vielen Lichtmeilen Entfernung, die eben von anderen Sternen umkreist werden. Ein typischer Finsternisstern ist Algol im Perseus, im Medusenhaupt (Bild 194), dessen Periode 69 Stunden beträgt. Er bleibt 2½ Tage auf der Helligkeitsstufe 2,1, um dann innerhalb 4½ Stunden auf das Minimum, Größe 3,2, zu sinken und in weiteren 4½ Stunden wieder sein normales Licht zu erhalten.

(11) Begriff Doppelstern. Bei der großen Anzahl der Sterne auch außerhalb der Milchstraßengegend und außerhalb der Sternhaufen ist es selbstverständlich, daß mitunter zwei einander außergewöhnlich nahe Sterne, die miteinander nichts gemein haben, von denen z. B. der eine viel weiter als der andere liegen kann, den Eindruck erwecken, daß sie irgendwie zusammen gehörten. Es kann dies auch bei einem Stern großer Eigenbewegung der Fall sein, wenn

ihn diese im Verlauf langer Zeiträume in die scheinbare Nähe eines anderen kaum merklich bewegten Sternes bringt. Bei derartigen reinen Zufallserscheinungen spricht man von „optischen Doppelsternen". Sie sind für den Beobachter dankbare Objekte, vom kosmischen Standpunkt jedoch weiter nicht interessant. Doppelsterne im eigentlichen Sinn oder Binärsterne nennt man nur je zwei Sterne, die physisch zusammengehören. Dies bedeutet entweder, daß die beiden in Betracht kommenden Sterne innerhalb eines übersehbaren Gebietes sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, oder zweitens, daß beide Sterne eine nachweisbar gleich große und gleichgerichtete Eigenbewegung oder spezielle Bewegung besitzen, so daß gemeinsame Bewegung uns die physische Duplizität garantiert. Drittens können ein besonders enger gegenseitiger Abstand oder besonders intensive Farben oder sonstige auffällige gemeinsame Merkmale einen höheren Grad der Wahrscheinlichkeit dafür beanspruchen, daß man es mit physischen Systemen zu tun hat. — Im allgemeinen wird bei hellen, d. h. im großen und ganzen nahen Sternen selbst ein

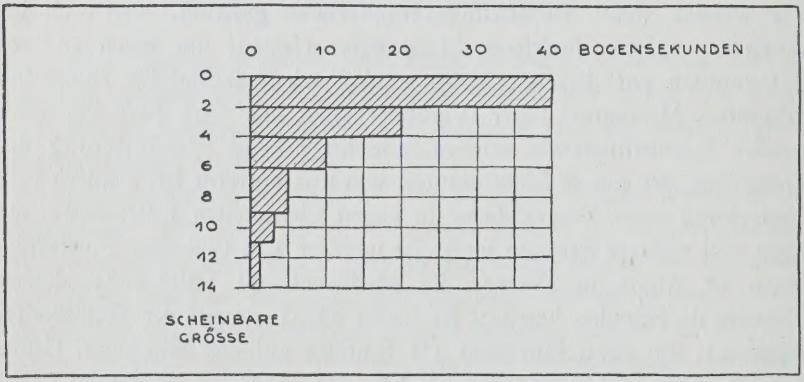


Bild 231. Doppelsterne. Bei bestimmter scheinbarer Größe ist ein bestimmter maximaler Winkelabstand der beiden Komponenten nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung ein Kennzeichen für die physische Duplizität.

größerer Abstand zweier Objekte die physische Duplizität vermuten lassen, bei schwächeren oder weiteren Sternen wird erst eine entsprechend enge Verbindung einen wirklichen Doppelstern bedeuten. Nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung gelten für echte Doppelsterne die in Bild 231 angegebenen Maximaldistanzen. — Für

die beiden Komponenten eines Doppelsternes kann das Größenverhältnis ihrer Massen gefunden werden, wenn man den Ort des Gravitationszentrums des Systems kennt; denn man weiß, daß die Abstände von diesem Zentrum im umgekehrten Verhältnis zu den Massen der beiden Sterne stehen.

(12) Doppelsternkategorien. Die eigentlichen Doppelsterne werden in der Regel in visuelle, spektroskopische und photometrische eingeteilt. Man nennt sie visuell, wenn man ihre beiden Teile, Komponenten, mit irgend einem optischen Hilfsmittel direkt sehen kann, wie z. B. beim Stern Gamma im Löwen, der für das freie Auge einfach, im Fernrohr als eine Doppelsonne erscheint. Man nennt des weiteren spektroskopische Doppelsterne solche, deren Komponenten nicht direkt gesehen werden können, auf deren Dasein jedoch Radialeffekte eindeutig hinweisen. Kapella ist ein derartiger spektroskopischer Doppelstern. Seine wichtigsten Spektrallinien spalten sich in je zwei, die auseinandergehen und sich wieder vereinigen. Die Bahn der beiden Komponenten liegt etwa so, daß unser Auge in die Erweiterung dieser Ebene fällt. Kommt der eine Stern auf uns zu, so verschieben sich dessen Spektrallinien nach Violett. Gleichzeitig entfernt sich der zweite Stern von uns. Seine Linien gehen nach Rot. Sind die beiden Sterne nahezu hintereinander, dann laufen sie senkrecht zu unserer Blickrichtung, so daß ein Dopplereffekt nicht stattfindet. Es spielt sich alles in einer Periode von 104 Tagen ab. — Ein weiterer typischer Binärstern dieser Art ist Mizar (Bildtafel XVII). — Die Perioden der spektroskopischen Doppelsterne bewegen sich zwischen wenigen Stunden und mehreren Jahren. — Eine dritte Kategorie bilden die schon erwähnten Bedeckungsveränderlichen oder Finsternissterne. Man nennt sie auch photometrische Doppelsterne, weil ihre Natur im großen und ganzen auf Grund von Lichtmessungen erkannt wird. Weitere Beispiele bieten Algol im Perseus, Scheliak oder Beta in der Leier und viele andere.

(13) Doppelstern Sirius. Ein zweites Beispiel für einen visuellen Doppelstern möge Sirius mit seinem Begleiter abgeben. Es gibt — eine Einteilung vom Gesichtspunkte der Praxis — leichte und schwierige Objekte. Sirius zählt wohl zu den allerschwierigsten. Die Lage des Begleiters relativ zum Hauptstern stellt Bild 232 in zweifacher Art dar. Links erkennen wir die Umlaufsbahn, so wie sie sich uns auf die Himmelskugel projiziert. Es ist eine Ellipse und hat,

wie jede andere, ihre Brennpunkte. Man muß nur eine recht schlanke, auf Papier gezeichnete Ellipse in verschiedenen Lagen des Zeichenpapieres betrachten, um die Verschiedenartigkeit der Form zu erkennen. Hält man beispielsweise das Blatt so, daß seine Ebene mit der Blickrichtung einen kleinen Winkel einschließt, und ist einmal die

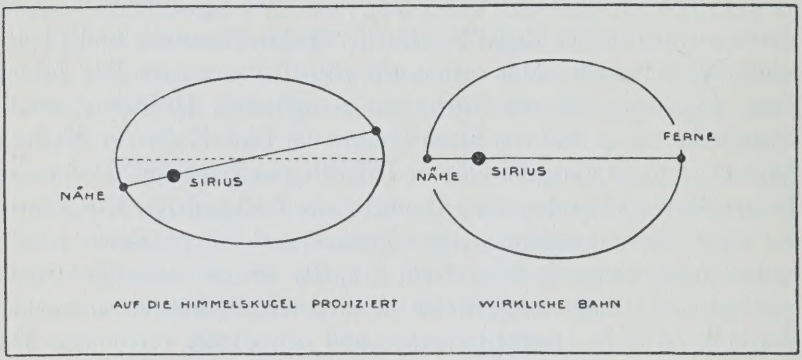


Bild 232. Bahn des Siriusbegleiters relativ zu Sirius. Links Projektion auf die Himmelskugel, rechts in senkrechter Draufsicht auf die Bahnebene.

Längsachse, ein andermal die Querachse senkrecht zur Blickrichtung, dann sieht man deutlich, wie man aus den Brennpunkten der „gesehenen", d. h. im Falle des Sirius auf die Himmelskugel projizierten Bahn nicht ohne weiteres auf die wirkliche schließen kann. Es ist

Siriussystem	Hauptstern	Begleiter
Scheinbare Größe	−1,58	+ 8,44
Farbe	weiß	weiß
Spektrum	A0	A7
Strahlungstemperatur in Kelvingraden	11 000	8 000
Durchmesser in Millionen Kilometern	2,2	0,04
Absolute Größe	+ 1,3	+ 11, 3
Leuchtkraft, verglichen mit der Sonne	26	0,003
Masse, verglichen mit der Sonne	2½	$^4/_5$
Dichte, bezogen auf Wasser	0,9	50 000

dies Problem aber geometrisch oder graphisch zu lösen. Methoden, die wir zum Teil schon kennen lernten, haben es gestattet, uns über das Siriussystem ein zahlenmäßig gut verbürgtes Bild zu machen. — Sirius ist 8,2 Lichtmeilen weit entfernt. Der Siriusbegleiter läuft in 50 Jahren um Sirius herum. Die halbe große Achse der Siriusbegleiterbahn beträgt 20½ Erdbahnhalbmesser oder rund 3 Milliarden Kilometer. Weitere Einzelheiten bringt die Tabelle „Siriussystem". —

Die enorme Dichte des Siriusbegleiters, auf die man aus den Zahlen für den Durchmesser und die Masse zwangsläufig zu kommen glaubt, wird dadurch erklärt, daß man die atomaren Bausteine, Protonen und Elektronen, die im normalen Zustand im Vergleich mit ihren gegenseitigen Abständen ein überaus lockeres Gefüge darstellen, als fest „aneinandergepackt" ansieht.

(14) Doppelstern Kapella. Als Beispiel für einen spektroskopischen Doppelstern soll Kapella im Sternbild des Fuhrmanns dienen. Ihre beiden Komponenten stehen 127 Millionen Kilometer von einander ab und kreisen innerhalb von 104 Tagen umeinander. Aus der Tabelle hier sind weitere Angaben zu entnehmen:

Kapellasystem	Größere Komponente	Kleinere Komponente
Scheinbare Größe	+ 0,8	+ 1,1
Spektrum	Go	F_5
Durchmesser in Millionen Kilometern	16	8
Absolute Größe	—0,2	+ 0,1
Masse in Sonneneinheiten	4,2	3,3
Dichte in Promillen der Sonnendichte	4	30
Temperatur in Kelvingraden	5 700	7 400

Im planetaren Maßstab hat das Kapellasystem die in Bild 233 angegebenen Dimensionen.

(15) Entfernungsbestimmung bei Doppelsternen. Zur Bestimmung der Entfernung einer der beiden Komponenten eines Doppelsternes können die im zweiten Abschnitt dieses stellaren Teiles aufgezählten und erläuterten Methoden benützt werden. Ein Verfahren, das speziell bei Doppelsternen Anwendung finden kann,

ist im 9. Kapitel des zweiten stellaren Abschnittes unter 12 aufgezählt. Wir nehmen zur Erläuterung der Methode den denkbar einfachsten Fall, daß zwei gleichgroße Komponenten derart umeinanderkreisen, daß unsere Blickrichtung in der Bahnebene liegt, welch letztere waagrecht gedacht werden soll. Aus dem Radialeffekt der Spektrallinien ist es möglich, für die Lagen links und rechts, wenn etwa der eine Stern auf uns zu-, der andere von uns wegeilt, die Umlaufsgeschwindigkeit, die Kilometer je Sekunde, zu bestimmen. Laufen die beiden Komponenten nach einem Viertelumlauf senkrecht zur

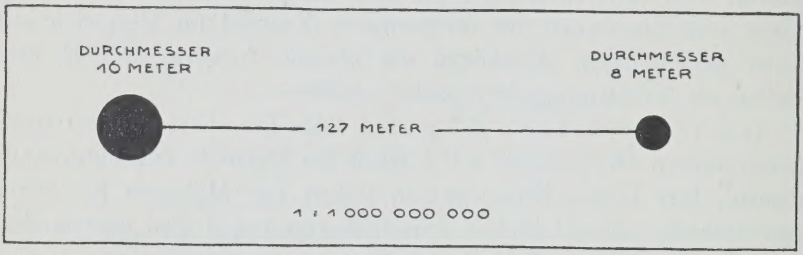


Bild 233. Kapellasystem. Modell im planetaren Maßstab. Einem Meter im Modell entspricht eine Million Kilometer der Wirklichkeit.

Blickrichtung, dann kann aus der bekannten Umlaufsgeschwindigkeit — die ja gleich ist der gemessenen Radialgeschwindigkeit, Unveränderlichkeit im Umlauf vorausgesetzt — und aus der Anzahl der Sekunden, innerhalb derer ein bestimmtes Bahnstück beobachtet wurde, die Kilometerlänge dieses senkrecht zu unserer Blickrichtung liegenden Bahnstückes ermittelt werden. Auge und eben dieses Bahnstück bilden ein „schmales Dreieck". In ihm ist die Querseite und aus der gemessenen Winkelgröße des beobachteten Bahnstückes die Arcuszahl für den Winkel am Auge gegeben, so daß sich die Längsseite, d. h. die Entfernung des Doppelsternes berechnen läßt.

Wenn wir in der linken Bahnfigur in Bild 232 einen Pfeil setzen, der eine Bewegung des Begleiters oben nach rechts darstellt, dann ist es zunächst denkbar, daß der obere Teil der Ellipse hinter der Papierebene liegen wird. Dann kreist der Begleiter, von oben gesehen, in der Richtung des Uhrzeigers. Es ist aber zweitens ebenso möglich, sich das genannte obere Ellipsenstück in der Zeichnung vor der Papierebene liegend zu denken: in diesem Fall würde der Begleiter, von oben gesehen, gegen den Uhrzeiger laufen. Der Richtungs-

sinn eines Doppelsternumlaufs läßt sich also im allgemeinen nicht ohne weiteres ermitteln. Sonst sind Elemente und weitere Bestimmungsstücke einer Doppelsternbahn ähnlich denen planetarer Bahnen, wie wir sie im ersten Abschnitt des dritten Teiles aufzählten und erläuterten, zu berechnen.

(16) Mehrfache Sterne. Entsprechen drei, vier oder mehr Sterne den Bedingungen, die wir als Erkennungszeichen für physische Doppelsterne angaben, dann sprechen wir von mehrfachen Systemen.

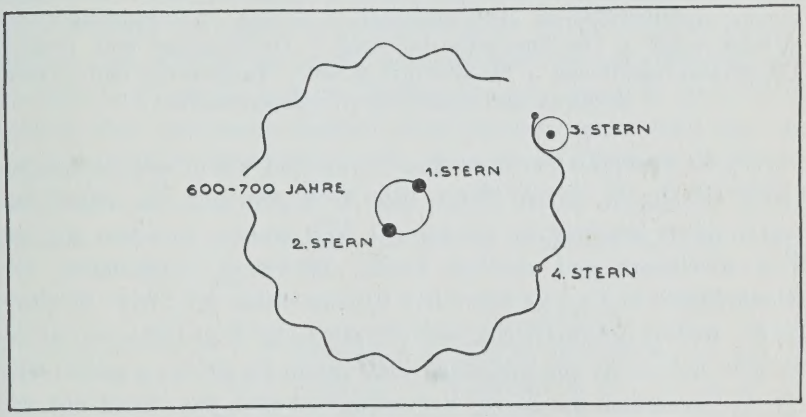


Bild 234. Stern Zeta im Krebs als vierfaches System

So wie die uralte Frage nicht zu beantworten ist, wieviel Stücke einen Haufen bilden, so ist auch keine Grenze zwischen mehrfachen Systemen und Sternhaufen zu ziehen. Es ist jedenfalls erlaubt, wenn auch nicht üblich, ein mehrfaches System einen kleinen Sternhaufen zu nennen. Allerdings wird diese Bezeichnung dort wegfallen, wo innerhalb des mehrfachen Systems untergeordnete Bewegungen vorkommen, die dem Ganzen eine ganz besondere, innere Struktur verleihen. So ist z. B. der Stern Zeta im Krebs ein vierfaches System, auf das der Name „Haufen" kaum passen würde. Nach Bild 234 kreist um einen Stern, der selbst ein visueller Doppelstern ist, ein spektroskopischer Doppelstern in 600 bis 700 Jahren einmal herum.

FÜNFTER ABSCHNITT

STERNPHYSIK

Sternprobleme / Russelldiagramm / Hauptserie und Riesenast / Kosmogonische Deutung / Sternmassen / Stern und Seifenblase / Strahlungsdruck / Eddingtonsches Massenintervall / Massen im Hauptdiagramm / Interferometer / Durchmesserbestimmung / Durchmesser und Dichte / Temperaturdefinitionen / Sterntemperaturen / Temperatur und Masse / Rotation und Strömungen / Sternmaterie

(1) Sternprobleme. Die Sterne sind wie unsere Sonne glühende Gaskugeln, deren Natur hier in Ergänzung des schon Gesagten näher beschrieben werden soll. Wir wollen, nachdem wir uns über scheinbare und absolute Größe, Spektrum, Entfernung, Geschwindigkeit und einige besondere Eigenschaften der Sterne belehren ließen, weitere geometrische wie physikalische Eigenschaften zu ermitteln suchen, die ein jedes Sternindividuum als solches angehen oder für die Gesamtheit der Sterne kennzeichnend sind, wie Oberfläche und Oberflächenerscheinungen, Zusammenhänge des Spektrums mit anderen, zahlenmäßig faßbaren Merkmalen, dann Oberflächentemperatur, Inhalt, Masse, Dichte und all deren gegenseitige statistisch ergründete Zusammenhänge. Schließlich soll versucht werden, Richtungen wenn auch nur anzudeuten, in denen Hypothesen über Inneres und Aufbau der Sterne sowie kosmogonische Fragen der Stellarastronomie sich bewegen. Daß Darstellungen von dieser Art keine endgültigen sein können und die sie begleitenden Diagramme auch keine solchen sein wollen, liegt in der Natur jedes statistischen, also in fortwährender Veränderung und Erneuerung befindlichen als Grundlage dienenden Zahlenmaterials, bei dem Menge und Auswahl mitunter den Ausschlag geben. Die Darstellungen sollen aber dadurch, daß sie ihrem Wesen nach eine Idee festhalten sollen, auch dann brauchbar sein, wenn das ihnen zu Grunde liegende Zahlenmaterial im Verlauf der Zeit, wie es selbstverständlich ist, modifiziert wird.

(2) Russelldiagramm. Es gibt absolut helle Sterne, die

durch die absoluten Größenklassen 0, —1, —2 usw. bezeichnet werden. Es sind die Sternriesen oder Giganten. Besonders helle Sterne mit absoluten Größen zwischen —5 und —10 nennt man auch Übergiganten, im Gegensatz hiezu Sterne der absoluten Größe +4, +5, +6 usw. bis +15 und noch schwächere — Zwerge. Unsere Sonne mit bloß +5 gehört in die Zwergkategorie. Von den bekannten Sternen sind hinsichtlich ihrer Leuchtkraft ausgesprochene Riesen z. B. Antares, Beteigeuze, Spika; zu den Zwergen zählen außer unserer Sonne z. B. Prokyon. Eine rohe Zuordnung absoluter Größen zu den Spektren hatte uns schon die punktierte Linie in Bild 235 vor Augen führen sollen. Das ihr zu Grunde liegende Material war allerdings beschränkt und muß in großem Umfang erweitert werden, wenn man wirklich eine „graphische Statistik aller Sterne", wenn auch nur auf Grund von Stichproben, haben will. Man pflegt allgemein die Regel einzuhalten, daß man von links nach rechts Punkte für die Spektral-

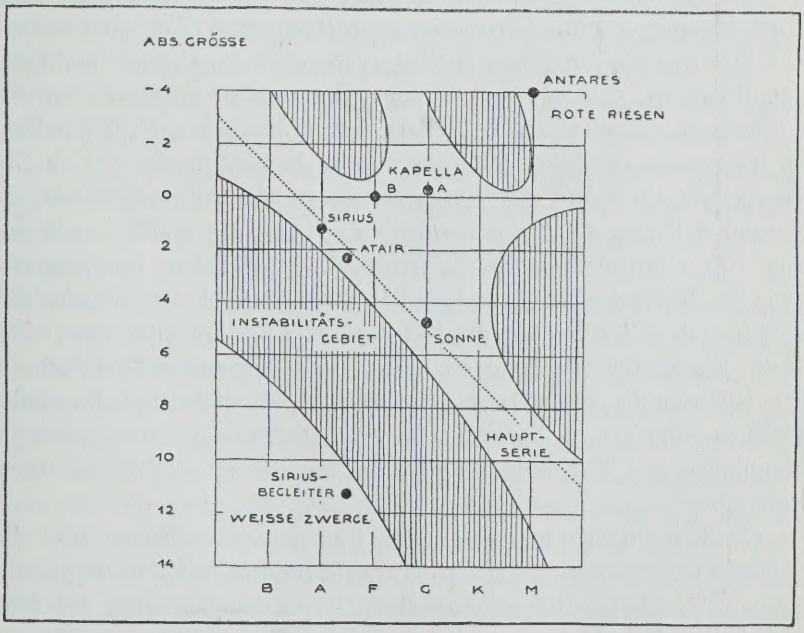


Bild 235. Russelldiagramm oder stellares Hauptdiagramm. In den schraffierten Teilen gibt es nahezu keine Sterne. Die gestrichelte Gerade gibt die Richtung der Hauptserie an. Die nicht schraffierten Flächen sind mit Sternen belegt zu denken. Es sind nur wenige Einzelsterne eingetragen.

typen Bo, Ao, Fo, Go, Ko, Mo sowie deren dazwischen befindliche Unterabteilungen aufträgt, wie z. B. B1, B2, B3 usw. — Des weiteren werden, gewöhnlich am linken Rand, die absoluten Größen mit deren dezimalen Unterstufen derart aufgetragen, daß oben die Überriesen stehen. Die gesamte Anordnung, Russelldiagramm genannt, spielt bei jeder Sternbeschreibung und bei Erörterung aller stellaren Zusammenhänge eine wichtige Rolle (Bild 235). Es kann als stellares Hauptdiagramm bezeichnet werden. In seinem Bereich hat jeder auf Spektrum und absolute Größe geprüfte Stern im Schnittpunkt der ihn kennzeichnenden Linien eindeutig Platz. Atair z. B. hat die absolute Größe 2,2 und ein Spektrum zwischen A und F hat also die ihm in der Figur angewiesene Stelle. Die absichtlich nur roh schematisch begrenzten nichtschraffierten Teile sind mit bekannten Sternen belegbar. Die schraffierten Stellen sind relativ sternleer. In der linken unteren Ecke sind die „weißen Zwerge" wie der Siriusbegleiter.

(3) Hauptserie und Riesenast. Man nennt im stellaren Hauptdiagramm den etwa waagrechten, zum Teil unterbrochenen Streifen, der die Sterne absolut 1. bis etwa -3. Größe einschließt, den Riesenast, den schrägen Streifen, der sich zu beiden Seiten der punktierten Geraden als Diagonale durch das ganze Feld hinzieht, im Gegensatz hiezu wohl auch den Zwergast, besser jedoch die Hauptserie, ein Name, der wenigstens die zu ihm vollwertig gehörigen B- und A-Riesen nicht von vornherein ausschließen müßte. — Wenn man vom schütteren Gebiet der weißen Zwerge absieht, umfassen die zwei beschriebenen Streifen eigentlich die Gesamtheit der Sterne. Sie decken sich in der Gegend der F-Sterne etwa bei der absoluten Größe Null. Bei bekannter absoluter Größe und bei bekanntem Spektrum ist die Einordnung ins stellare Hauptdiagramm eindeutig. Im Falle gleichen allgemeinen Spektraltyps ermöglichen u. a. die spektralen Kennlinien eine Entscheidung über die Zuordnung zum Riesen- oder Zwergast.

(4) Kosmogonische Deutung. Wir müssen uns die weißen Flächen unseres stellaren Hauptdiagramms mit weißen, gelben, roten usw. Sternen belegt vorstellen. Es ist dann erlaubt, aus dem räumlichen Nebeneinander aller Sternarten ein zeitliches Nacheinander, eine Entwicklungsgeschichte der Sterne, eine Kosmogonie, herauszulesen. Ist man sich des hypothetischen Charakters derartiger Deutungen voll bewußt, dann müssen einen die gewiß mitlaufenden

Irrtümer, die die kommende noch ungeahnte Entwicklung der heute noch ganz jungen und sehr unvollkommenen stellaren Statistik aufdecken wird, nicht unbedingt reuen. — Im allgemeinen stellt man sich die Entwicklung eines typischen Sternes, falls man von so einem überhaupt sprechen darf, an Hand des Hauptdiagramms so vor: Eine gewisse Menge der ursprünglich chaotischen Materie fängt, wenn etwa eine Quintillion Kilogramm beisammen ist, zu leuchten an. Die Zahl ist, wie wir später sehen werden, gut überlegt. Diese Menge nennen wir einen Stern, sie ist ungeheuer ausgedehnt. Der Stern ist ein Riese. Seine Temperatur ist noch relativ niedrig, seine Farbe rot. Die Dichte ist außerordentlich gering. Sie stellt ja einen Übergang aus der kosmischen Leere zur Sternnatur dar. Ein derart beschriebener junger Stern gehört in die rechte obere Ecke des Hauptdiagramms als riesiger M-Stern. In seiner weiteren Entwicklung „wandert" er den Riesenast entlang. Er bleibt trotz kontinuierlicher Kompression seiner Masse noch Riese. Die immer weiter schreitende Zusammenballung verursacht eine allmähliche Steigerung der Drucke im Inneren, Steigerung der Temperatur, Veränderung des Spektraltyps. Aus dem M-Stern wird normalerweise ein K-, G-, F-, schließlich ein A- oder sogar ein B-Stern. Im weiteren Verlauf kann die im Sterninnern noch weiter tätige Energieentwicklung die durch fortschreitende Strahlung in den Weltraum verloren gehende Energie nicht mehr ersetzen. Der Stern bleibt im Inneren heiß, er wird aber kleiner, allmählich zwerghafter, wobei seine Oberflächentemperatur sinkt und sein Spektrum in der Richtung zurück gegen M sich ändert. Die Hauptserie stellt die Straße dar, in der die absteigende Weiterentwicklung eines Einzelsternes vor sich geht, bis er sein Konterfei aus dem Diagramm rechts unten verschwinden sieht. Er kommt in ein uns optisch nicht zugängliches Stadium. Wir können ihn nicht mehr wahrnehmen. Er hat die farbenreiche Bühne des Russelldiagramms verlassen und zieht sich „von der Öffentlichkeit" endgültig zurück. Wir können über seinen weiteren Lebenslauf nicht einmal Vermutungen aufstellen, doch wissen wir, daß dunkle Materie im Bau des Alls eine große Rolle spielt. Es ist anzunehmen, daß sie wenigstens zum Teil aus Massen solcher Sterne besteht, die für uns optisch beschränkte Wesen als „abgestorben" angesehen werden müssen. — In Bild 236, das in Form eines zweimal gebrochenen Pfeiles die eben geschilderte Kosmogonie eines Sternes veranschaulichen soll, sind

Sternnamen als Beispiele eingetragen, sowie Sterntemperaturen, welch letztere uns erst im 13. und 14. Kapitel beschäftigen werden.

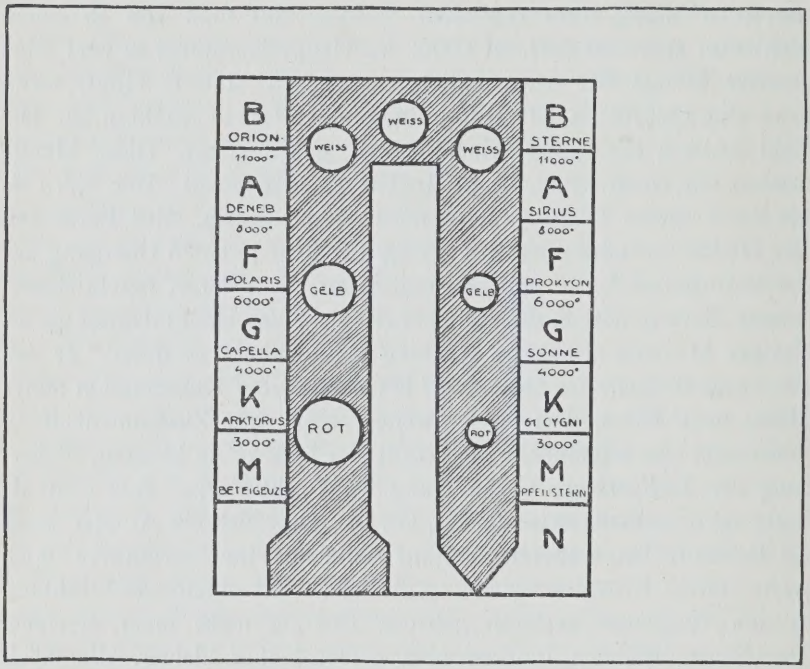


Bild 236. Aufsteigender und absteigender Ast der Sternentwicklung. Aus des Verfassers „Himmel und Welt"

(5) Sternmassen. Die Massen der Sterne können in Fällen, wo es sich um Doppelsternsysteme handelt, auf Grund des aus dem Gravitationsgesetz abgeleiteten erweiterten dritten Keplerschen Gesetzes errechnet werden. Die Methode wurde im vorigen Abschnitt erwähnt. Durch Vergleich derart bestimmter Massen mit anderen sie begleitenden stellaren Eigenschaften und Feststellung bestimmter Zuordnungen zwischen diesen und den Sternmassen ist es möglich gewesen, Massen aus allen möglichen, meist spektralen Eigenschaften, auch bei Einzelsternen zu ermitteln. Unsere Sonne hat die Masse von zwei Quintillionen Kilogramm, das sind 2000 Quintillionen Gramm oder 2, multipliziert mit einer Zahl, die aus Eins mit 33 Nullen besteht. Wir schreiben dies in der Form

2×10^{33} und lesen: 2mal 10 „hoch 33" Gramm, wobei 2 für 1,985 gesetzt, also recht wenig abgerundet wurde. Andere, sicher verbürgte Sternmassen ergeben ähnliche Zahlen, so daß man die Sonnenmasse, vielleicht eine um 6 Prozent geringere, als Durchschnittsmasse der Sterne überhaupt ansehen kann. Dreimal so schwere Sterne sind selten. Sterne, zehnmal so leicht wie unsere Sonne, sind unbekannt, aber ihre Existenz ist nach den Ausführungen des letzten Kapitels wahrscheinlich. Bleiben wir bei der Definition eines Sternes als selbstleuchtender Masse, dann ist es sicher, daß es Sterne mit 10^{33} Gramm „Gewicht" gibt, auch solche von 10^{32}, aber keine leichteren — auch solche von 10^{34}, aber keine schwereren. Dies enge Massenintervall will erklärt werden.

(6) Stern und Seifenblase. Ein Stern ist eine Gaskugel wie eine — sagen wir — seifenlose Seifenblase. Die Luft der letzteren wiegt vielleicht 1 Gramm und leuchtet, ins dunkle Weltall versetzt gedacht, selbstverständlich nicht. Fällt ein Widerstand, wie die gespannte, elastische Seifenhaut fort, dann kann die Molekülmenge nicht mehr straff zusammengehalten werden. Sie dehnt sich aus, aber nur bis zu einer gewissen, wenn auch weit liegenden Grenze, denn die Masse 1 Gramm übt ihre Gravitationskräfte aus, als ob sie vollständig in der Mitte der Molekülmenge vereinigt wäre. Statt der bloßen Luftmoleküle denken wir uns in diesem Gasball die chemischen Elemente und deren Bausteine etwa derart vertreten und so verteilt wie in der Sonne. Nun bilden wir in Gedanken Kugeln von

$$10^1,\ 10^2,\ 10^3,\ 10^4,\ 10^5 \text{ usw. bis } 10^{100} \text{ Gramm.}$$

In einer Seifenblasenwelt werden, wenn sie auch draußen im Weltall aufgedunsener und größer ist als im Seifenpanzer neben meinem Arbeitstisch, deren Moleküle und allerkleinste Teilchen in ihrem Inneren, vom Gravitationseinfluß abgesehen, keinerlei sonderliche Wirkung aufeinander ausüben. Bei bedeutend massenreicheren Gaskugeln aber wird sich die Gravitationswirkung nach innen als bestimmter Druck äußern, der besonders in der Kugelmitte sehr groß sein kann. Durch die hohen Drucke entstehen hohe Temperaturen und schließlich fängt der Gasball zu leuchten an und erhält statt des profanen Namens Seifenblase, den zu tragen er selbst in einem Gedankenexperiment kaum mehr berechtigt ist, den Namen „Stern".

(7) Strahlungsdruck. In einem solchen Stern, sagen wir

versuchsweise und kühn, von 10^{100} Gramm, dessen Grammgewicht durch ein Zahlenbild mit hundert Nullen angegeben werden müßte, drückt aber nicht nur die Masse von außen nach innen, sondern es wehrt sich gleichsam auch eine durch die Wärme erzeugte Spannung, der elastische Gasdruck, gegen diesen Massendruck. Aber es kommt hier noch eine weitere Erscheinung in Betracht, die in ihrer Entfaltung, wie die Theorie eindeutig zeigen kann, den gewöhnlichen Gasdruck bedeutend übertrifft, so daß ihr gegenüber der Gasdruck, wenigstens bei enormen Massen, wie sie Sterne darstellen, keine Rolle spielt. Es ist dies der Strahlungsdruck, dessen Begriff uns von den Sonnen- und Kometenkapiteln her vertraut ist. Bei einem Stern von 10^{100} Gramm wäre der Strahlungsdruck so gewaltig, daß er den Stern ganz auseinandertreiben müßte, bevor dieser noch anfinge, überhaupt zu existieren.

(8) Eddingtonsches Massenintervall. Bild 237 stellt für eine Reihe der im Kapitel „Stern und Seifenblase" erdachten

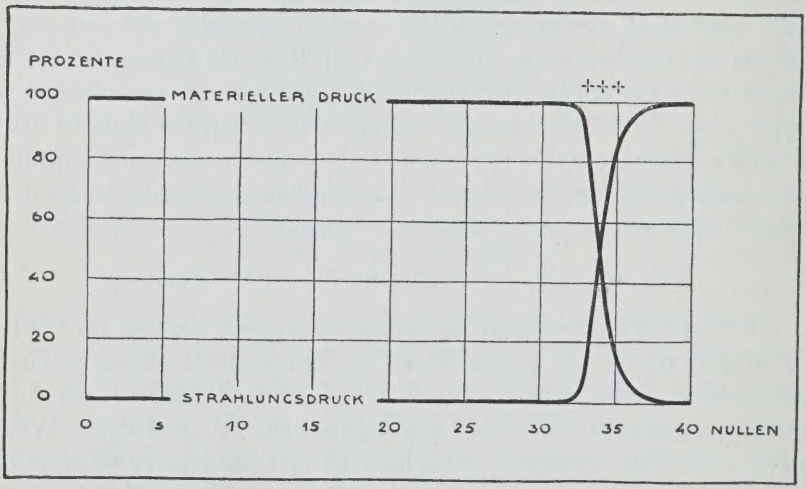


Bild 237. Strahlungs- und materieller Druck. Bei der Grammanzahl der Sterne ist nur die Anzahl der im Zahlenbild nach der Eins stehenden Nullen angegeben.

Gasbälle den berechneten Massen- und Strahlungsdruck in zwei Kurven dar, und zwar so, daß jeder Punkt einer Kurve die Prozente des Gesamtdruckes angibt, wenn wir Massen- und Strahlungsdruck addieren. Bei den Gaskugeln bis zur „Masse 32" — wir wollen kurz

so sagen statt „Masse, deren Grammanzahl mit 32 Nullen geschrieben wird" — kommt gegenüber dem Massen- oder materiellen Druck der Strahlungsdruck kaum in Betracht. Dann aber tritt ein kritisches Intervall ein. Bei der Masse 33 wächst der Strahlungsdruck, ist bei der Masse 34 so groß, wie der entsprechend verringerte materielle Druck. Schließlich wächst der Strahlungsdruck bei Sternen mit der Masse 35 und 36 derart gewaltig an, daß jetzt die Rollen gegen früher vertauscht sind: Der Strahlungsdruck macht 100 Prozent aus, der materielle Druck spielt überhaupt keine Rolle mehr. — Der „materielle" Druck wirkt nach innen, der Strahlungsdruck nach außen. Solange der materielle überwiegt, etwa bis zur Gaskugel 10^{32} Gramm, kommt die Strahlung nicht recht zur Geltung. Ist andererseits der Stern z. B. 10^{40} Gramm schwer, dann ist die Gravitation im Verhältnis zum wirklich explosiv wirkenden Strahlungsdruck zu klein, um die übermäßige Sternmasse zusammenzuhalten. Die Massen der Sterne müssen sich demnach — Bild 237 — auf ein bestimmtes Intervall beschränken, in dem materieller Druck und Strahlungsdruck einander gleich oder wenigstens miteinander einigermaßen vergleichbar sind. Die aus der Beobachtung gefolgerten Daten bestätigen diese Theorie.

(9) Massen im Hauptdiagramm. Bild 238 gibt einen Ausschnitt aus dem Hauptdiagramm. Es sind drei schematische

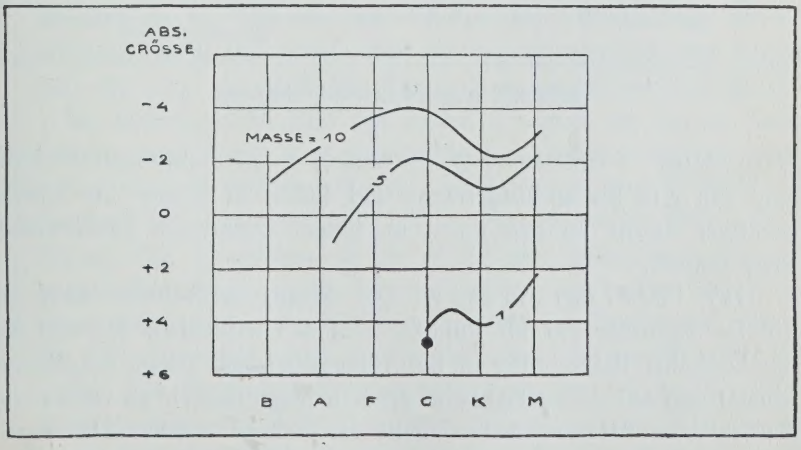


Bild 238. Massenverteilung im stellaren Hauptdiagramm. Das schwarze Scheibchen bedeutet die Sonne.

Kurven eingezeichnet, die die Sterne mit ein-, fünf- und zehnfacher Sonnenmasse innerhalb eines, wenn auch beschränkten Gebietes voneinander abgrenzen. Wir sehen, daß im allgemeinen der Massenreichtum umsomehr zunimmt, je helleren Zuständen die absolute Größe zustrebt. Absolut helle Sterne sind also auch die massenreicheren. Diesen Zusammenhang zeigt auch Bild 239. Hier sind die

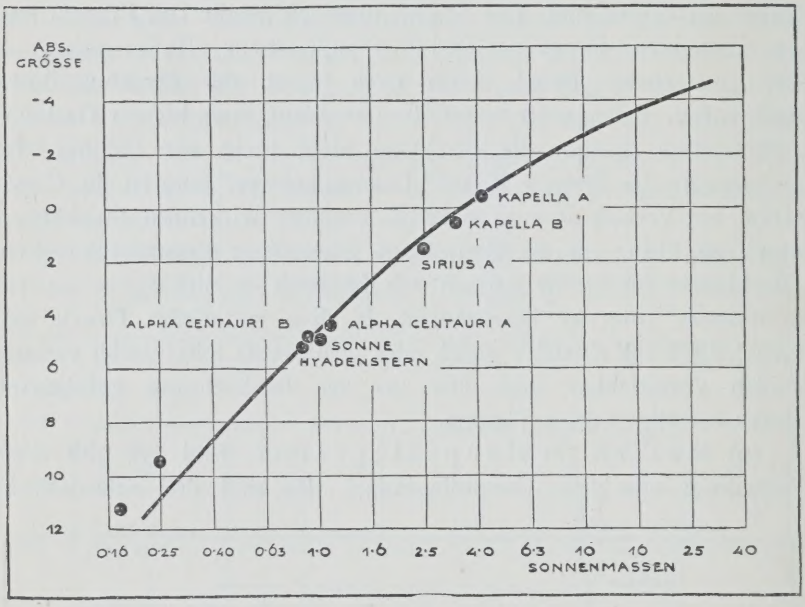


Bild 239. Massen-Leuchtkraftgesetz

Sternmassen — Sonnenmasse als Einheit — in multiplikativer Zählung von 0,16 bis 40 aufgetragen und außer der Sonne eine Anzahl wichtiger Sterne an den ihnen in diesem Diagramm gebührenden Platz gestellt.

(10) Interferometer. Die Sterne erscheinen selbst im größten Fernrohr nur als Punkte. Das den wirklichen Sternort bei teleskopischer Betrachtung in Form konzentrischer Ringe umgebende Muster darf mit dem selbst beim größten Stern tatsächlich verschwindend kleinen Sternscheibchen nicht verwechselt werden. Das regelmäßige Muster entsteht ähnlich wie das bunte Bild um den hellen Punkt einer Straßenlaterne, wenn man durch einen feingewebten

Regenschirm hindurchblickt. Es sind sogenannte Beugungserscheinungen, die im wesentlichen darauf beruhen, daß Lichtstrahlen, Lichtwellen, ebenso wie Wasserwellen sich nicht nur geradlinig fortpflanzen, sondern auch um Hindernisse herum abgelenkt werden. Bei derartigen Beugungen der Lichtwellen spielen immer auch Überlagerungen von Lichtwellen mit, die wir Interferenzen nennen. — Beugungs- und Interferenzerscheinungen können nun ausgenützt werden, um den Winkeldurchmesser eines Sternes auf Umwegen zu ermitteln. Als Beobachtungsgerät dient das sogenannte Interferometer, dessen Bau- und Wirkungsweise unter Benützung ausgewählter Zahlenangaben der Idee nach beschrieben werden soll. Auf zwei Spiegeln, die 300 Zentimeter voneinander entfernt sein sollen, möge das Licht eines Sternes aufgefangen werden, dessen Scheibendurchmesser im Winkel- oder Arcusmaß bestimmt werden soll. — Das Licht strahlt auf die beiden Spiegel, die vor einem großen Fernrohr angebracht sind, und diese reflektieren die Strahlen in das Fernrohr hinein, wo die Wellen der beiden Strahlen sich überlagern, zur Interferenz gelangen. Haben die beiden Wellen, die wir uns als ideal einfarbig, monochromatisch, z. B. rein orangefarbig, vorstellen wollen, keinen Gangunterschied, dann bedeutet das, daß dann Wellenberg des Lichtstrahles zu Wellenberg, und Wellental zu Wellental kommt. Licht und Licht verstärken somit einander. Haben aber die beiden Wellenzüge eine halbe Wellenlänge Gangunterschied, dann kommt Wellenberg zu Wellental und Wellental zu Wellenberg, die Lichtwirkung bleibt aus. Zählt aber der Gangunterschied eine oder zwei oder drei usw. ganze Wellenlängen, dann entsteht neuerdings „Hell".

Im schematischen Bild 240 finden wir statt der beiden Auffangspiegel zwei Spalte in einem lichtundurchlässigen Schirm, und wir stellen uns vor, daß zunächst nur das Licht aus dem Mittelpunkt der Sternscheibe, senkrecht zum Schirm gehend, strahlt (Bild 240, linke Figur). Die Interferenz in der Mitte der lichtauffangenden photographischen Platte, in der Symmetrieebene der beiden Spalte, ergibt reines Orange, das der Wellenlänge 0,000 06 Zentimeter entspricht. Im Bild, das wie in einem photographischen Negativ die hellen Stellen dunkel und die dunkeln Flächen hell wiedergibt, ist die orangefarbige Stelle einfach mit „Hell" bezeichnet. Ein Gangunterschied der beiden interferierenden Wellenzüge besteht ihrer Symmetrie wegen nicht. — Der zweiten orangefarbenen Stelle, rechts von der ersten, aber noch

in der ersten Figur, entspricht der kräftig angedeutete Ausschlag. Zur Ermittlung des an dieser Stelle bestehenden Gangunterschiedes kann das schraffierte Dreieck benützt werden, das in Wirklichkeit ein ideal schmales ist. — Der Satz vom schmalen Dreieck gibt an: „Querseite = Längsseite mal Arcuszahl". Da die Querseite gleich dem kräftig gezeichneten Gangunterschied ist, des weiteren die Längsseite 300 Zentimeter mißt und der kleine Dreieckswinkel am zweiten Spalt gleich dem „Ausschlag" ist, ergibt sich folgendes:

Gangunterschied = 300 Zentimeter mal Arcuszahl des Ausschlages.

Der Gangunterschied ist hier eine ganze Wellenlänge, d. h. seine Länge beträgt 0,000 06 Zentimeter. Verkleinern wir nun alle Maße in unserem Bild, mit ihnen auch die Größe der Wellenlänge, im Maßstab 1 : 300, so ergeben sich folgende Zahlen: Der Spaltabstand wird 1 Zentimeter, der eben beschriebene Gangunterschied 0,000 06 Zentimeter : 300 = 0,000 000 2 Zentimeter.

(11) Durchmesserbestimmung. In der zweiten Figur in Bild 240 kommt der Lichtstrahl vom linken Punkt der Sternscheibe, schließt also mit der Achse unseres Instrumentes den Winkel ein, unter dem uns der Sternhalbmesser erscheint. Wir wollen diesen Winkel den Radiuswinkel nennen. Ihn zu bestimmen ist unsere Hauptaufgabe. Nach unserem Bild besteht hier nun ein doppelter Gangunterschied für diejenigen Wellenzüge, die „Hell" ergeben. Rechnen wir auch weiter im Maßstab 1 : 300 der Wirklichkeit, so besteht die Gleichung: Gangunterschied unterhalb des Schirmes = 1 Zentimeter mal Arcuszahl des Ausschlages. Ebenso finden wir: Gangunterschied oberhalb des Schirmes = 1 Zentimeter mal Arcuszahl des Radiuswinkels, denn im schraffierten Dreieck am ersten Spalt oberhalb des Schirmes ist der kleine Winkel gleich dem Winkel, unter dem, von diesem Spalt aus gesehen, der Sternradius erscheint. — Betrachten wir den Lauf der beiden Wellenzüge vom Standpunkt des durch den ersten, links gezeichneten Spalt gehenden, gleichsam personifiziert gedachten Strahles, so wirken der erstgenannte Gangunterschied unterhalb des Schirmes und der zweite, oberhalb des Schirmes im Wettlauf der beiden Wellenzüge einander entgegen. Der gesamte Gangunterschied ist demnach „1 Zentimeter mal Arcus des Ausschlages minus 1 Zentimeter mal Arcus des Radiuswinkels". Diese Formel gilt für alle hellen Stellen. Ist der gesamte Gangunterschied

gleich Null, so bekommen wir das erste „Hell". In diesem Fall muß aber „1 Zentimeter mal Arcus des Ausschlages" gleich sein dem Betrag „1 Zentimeter mal Arcus des Radiuswinkels", was aber nichts anderes bedeutet, als daß der Ausschlag gleich ist dem Radiuswinkel. Das zweite Hell erhalten wir, ganz analog der Figur links, an jener Stelle der Platte, für die der gesamte Gangunterschied 0,000 000 2 Zentimeter beträgt. Es ist also (alles in Zentimetern ausgedrückt):

Bild 240	Winkel mit der Symmetrieebene (Arcus)	
	für die erste	für die zweite
	helle Stelle	
erste Figur (links im Bild)	0	0,000 000 2
zweite Figur (rechts im Bild)	Arcus des Radiuswinkels	Arcus des Radiuswinkels plus 0,000 000 2

Wir müssen uns nun vorstellen, daß durch anderweitige Überlagerungen von Lichtwellen noch weitere solche helle Streifen auf der Platte entstehen, entsprechend der ersten Figur in Bild 240. In Bild 241 sind diese hellen Stellen — das ganze Bild ist wieder ein

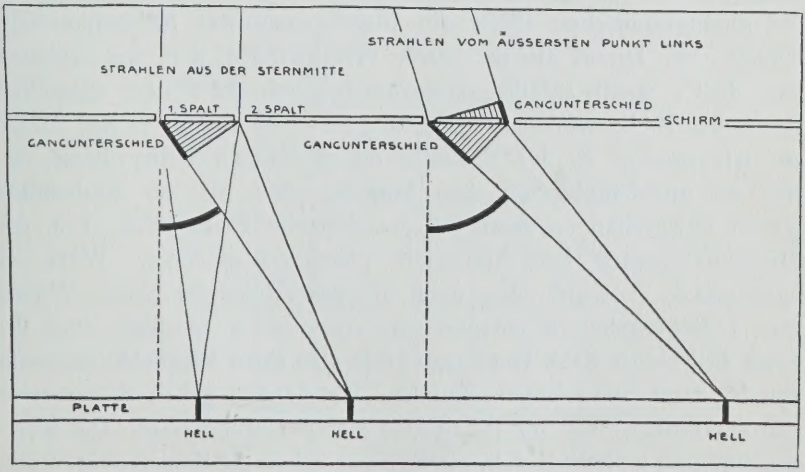


Bild 240. Durchmesserbestimmung der Sterne mit Hilfe des Interferometers. Rohes Schema.

Negativ — aufgetragen: 1. für den Mittelpunkt der Sternscheibe; 2. für den linken Endpunkt des horizontalen Sterndurchmessers, entsprechend der zweiten Figur in Bild 240; 3. gleichzeitig für den linken und rechten Endpunkt des horizontalen Sterndurchmessers;

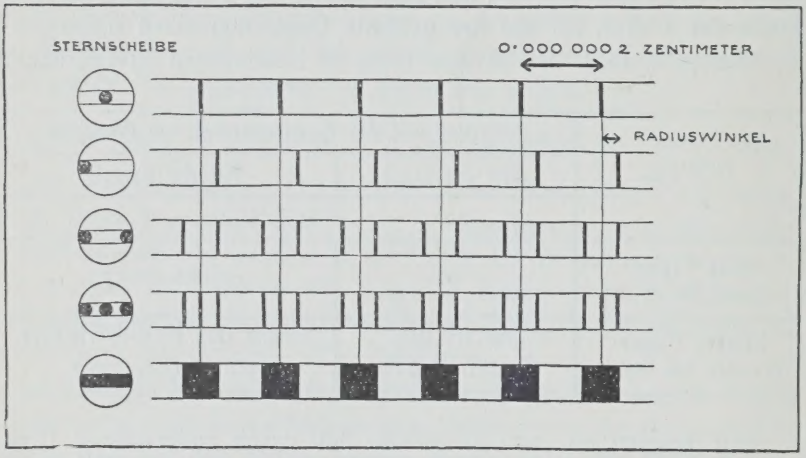


Bild 241. Zum Thema: Interferometerbild eines Sternes

4. für drei Sternpunkte; 5. für den Fall, daß der ganze Durchmesser leuchtet, was ja der Wirklichkeit entspricht. Wir erhalten also auf der photographischen Platte ein Interferenzmuster hell-dunkel-hell-dunkel usw. Dieses Muster würde verschwinden, d. h. wir erhielten nur „hell", wenn zufällig 0,000 000 2 gleich wäre dem doppelten Arcus des Radiuswinkels. Trifft dies zu — es kommt ja nur darauf an, wie groß z. B. der Spaltabstand genommen wird; dieser Betrag ist unabhängig von dem Maßstab, den wir der Einfachheit wegen anwandten — dann ist der doppelte Sternradius, d. h. der Sterndurchmesser im Arcusmaß gleich 0,000 000 2. Wäre er 0,000 004 8, so würde dies nach unserer Arcustafel einem Winkel von 1 Bogensekunde entsprechen. 0,000 000 2 ist aber nur der 24ste Teil obiger Zahl. Der Stern hätte also einen Winkeldurchmesser von $^1/_{24}$ oder 0,042 Bogensekunden. Tatsächlich haben Riesensterne von der Größe etwa der Beteigeuze diesen Durchmesser. Die Übereinstimmung ist kein Zufall, sondern wir haben die Zahlen so gewählt, daß das gegenseitige Verhältnis der Dimensionen im Interferometer den Verhältnissen der wirklich angewandten Vorrichtung entspricht.

Wird die Entfernung der beiden Spiegel im Interferometer verändert, so wird damit auch unsere Zahl 0,000 000 2 verändert, bis plötzlich auf der Platte des Interferometers die Zwischenräume zwischen den Interferenzstreifen verschwinden, so daß man die Durchmesser von Sternen im Winkelmaß bestimmen kann. Nur muß rechnerisch darauf Rücksicht genommen werden, daß nicht nur der Durchmesser des Sternes leuchtet, sondern die ganze Scheibe, und daß diese nicht gleichmäßig hell, sondern wie bei der Sonne gegen den Rand zu schwächer leuchtet. — Die Methode ist auch zur Ermittlung von gegenseitigen Sterndistanzen bei Doppelsystemen, wie bei Kapella, anwendbar. Die Winkeldistanz der beiden Komponenten entspricht dann im eben geschilderten Schema dem Sterndurchmesser. Jedenfalls ist es nach beendigter Interferometermessung nach dem Satze vom schmalen Dreieck möglich, bei irgendwie gegebener Entfernung bei einem Einzelstern dessen Kilometerdurchmesser, bei zwei Doppelsternkomponenten deren gegenseitigen Kilometerabstand zu ermitteln.

(12) Durchmesser und Dichte. Interferometrisch sind einige Sterne, bei denen man große Durchmesser vermutete, vermessen worden. Man hat für Arkturus im Bootes und Aldebaran im Stier Durchmesser zwischen 20 und 40, für Scheat im Pegasus rund 100, für Antares im Skorpion, Beteigeuze im Orion, Rasalgethi im Herkules und Mira im Walfisch sogar 300- bis fast 500fache Sonnen-

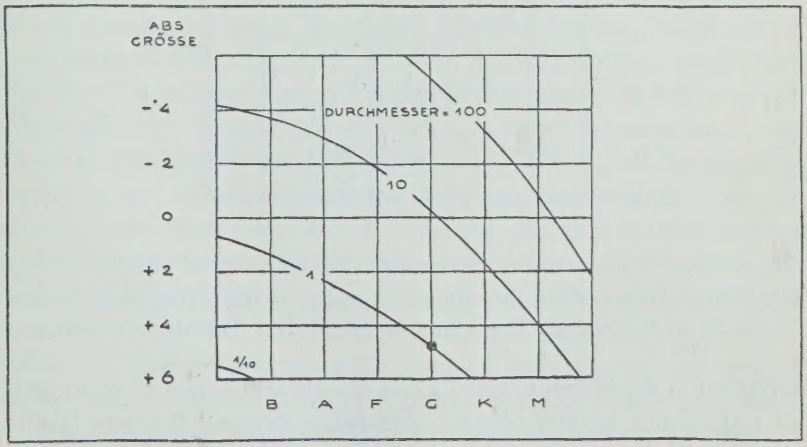


Bild 242. Durchmesserverteilung der Sterne im stellaren Hauptdiagramm. Das schwarze Scheibchen ist die Sonne. Sonnendurchmesser ist Maßeinheit.

durchmesser gefunden, was für die inhaltmächtigsten Sterne nahezu 700 Millionen Kilometer querdurch ergibt, Kugeln, innerhalb derer die ganze Merkur-, Venus-, Erd- und Marsbahn ganz bequem untergebracht werden könnten. Der Name Riesenstern ist mehr als gerechtfertigt. Ist — im planetaren Maßstab — die Erde eine Haselnuß, die Sonne so groß wie ein Wagenrad, dann benötigt man für die Sterngiganten Kugelmodelle bis zu 700 Metern Durchmesser. — Wären nun alle die Sterndurchmesser im selben Verhältnis umso größer, je mächtiger die absolute Helligkeit ist, so müßten die Kurven, die im Hauptdiagramm gleiche durchschnittliche Sterndurchmesser veranschaulichen, waagrecht verlaufen. Dies ist nach dem auf statistischer Grundlage beruhenden Bild 242 nicht der Fall. Es zeigt sich zwar deutlich abnehmende Tendenz der Durchmesserbeträge nach unten, d. h. gegen die schwächer leuchtenden Sterne zu, doch nehmen für eine und dieselbe absolute Helligkeit die Durchmesser gegen die Seite der B-Sterne zu beträchtlich ab. — Die Dichtekurven zeigen nach Bild 243 ähnlichen Verlauf, wie die Durchmesserkurven. Die Dichten

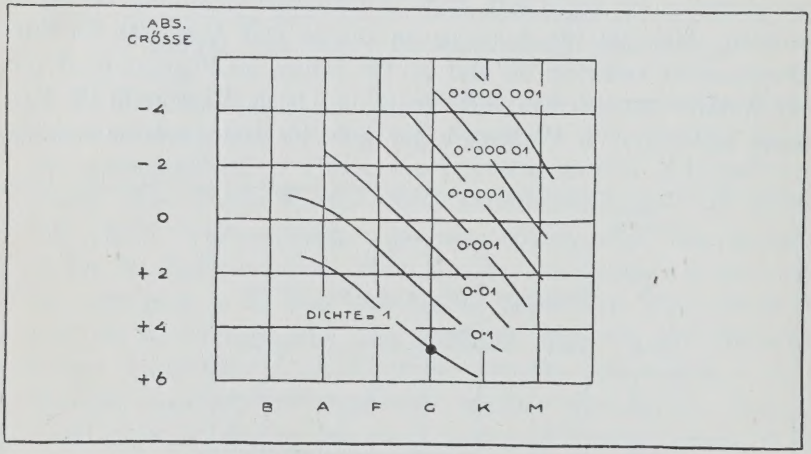


Bild 243. Dichteverteilung der Sterne im stellaren Hauptdiagramm. Sonnendichte ist Maßeinheit. Das schwarze Scheibchen bedeutet die Sonne.

erreichen in der linken unteren Ecke des Hauptdiagramms Beträge bis zu 50 000 und darüber hinaus. Wir haben derartig extreme Dichten im Siriuskapitel des vorigen Abschnittes erwähnt. — Gehen wir im Hauptdiagramm im Sinne seiner kosmogonischen Deutung zunächst

im Riesenast von rechts nach links, dann die Hauptserie diagonal abwärts, so überspringen wir die Durchmesserkurven (Bild 242) anfangs bei horizontalem Gang rasch, dann im Hauptast in sehr mäßigem Tempo. Auch die Linien gleicher Sterndichten zeigen im stellaren Hauptdiagramm eine starke Neigung gegen die Horizontale. Vielleicht sind diese und andere Abweichungen im stellaren Hauptdiagramm Anzeichen dafür, daß die Materie der Sterne nicht genau den Gesetzen idealer Gase folgt, sondern zum Teil Eigenschaften der Flüssigkeiten besitzt. Es ist denkbar, daß die Größen dieser Abweichungen quantitative Hinweise zur endgültigen Lösung des Problems von der Gasballnatur der Sterne liefern werden.

(13) Temperaturdefinitionen. Wenn ein Stern im Sinne des Sonnenabschnittes im dritten Teil ein „schwarzer Strahler" wäre, dann gäbe das im nächsten Kapitel erwähnte Strahlungsgesetz die Möglichkeit, die wirkliche Oberflächentemperatur der Sterne zu ermitteln, als ob wir ein hochzeigendes Thermometer in die Sternatmosphäre brächten. Da jedoch in Wirklichkeit kein Stern der Idealbedingung eines schwarzen Strahlers entspricht, so müssen die gefundenen Resultate als vorläufige angesehen werden und können erst nach Anwendung anderer parallellaufender Methoden als gesichert gelten. Es gibt eine Anzahl von rein erfahrungsgemäßen, im Prinzip nicht weiter ergründeten Formeln, mit denen es möglich ist, aus den verschiedenen meßbaren Eigenschaften eines Sternes dessen wirkliche Oberflächentemperatur zu ermitteln. Die berechneten Sterntemperaturen haben deshalb den verschiedenen Voraussetzungen gemäß verschiedene Definitionen und dementsprechend besondere Namen, wie Farbtemperatur, Strahlungstemperatur, Gradationstemperatur und schwarze Temperatur, bei deren Erläuterung Bild 155 nachgeschlagen werden möge. Die Farbtemperatur wird aus der Form der Energiekurve im Spektrum eines Sternes bestimmt, die auch im Farbenindex ihren Ausdruck findet. Sie läßt sich auch in dem Falle ermitteln, daß Durchmesser und Entfernung eines Sternes unbekannt sind. Die Strahlungstemperatur wird definitionsgemäß aus der gemessenen Fläche der Energiekurve ermittelt. Diese Fläche ist aber vom Durchmesser und der Entfernung des Sternes abhängig, kann also außer bei der Sonne nur bei etwa interferometrisch bestimmten Sternen bekannter Entfernung angewandt werden. Gradationstemperatur ist eine Art Farbtemperatur, wird auch aus der Form der Energiekurve be-

stimmt, und zwar aus ihrer Steigung in einem einzigen Punkt des Spektralbereiches abgeleitet. Die sogenannte schwarze Temperatur endlich ist eine Strahlungstemperatur für den engsten Bereich einer einzelnen Wellenlänge. Auch nach dem angewandten Gerät haben die irgendwie definierten Temperaturen Namen, wie z. B. bolometrische Temperatur. Es besteht endlich auch eine rein erfahrungsgemäße, weiter nicht ergründete Formel, die es ermöglicht, bei einem Stern aus dessen Durchmesser nur mit Hilfe der stets bekannten scheinbaren Helligkeit die Sterntemperatur zu bestimmen. — Wir geben ein Zahlenbeispiel bloß für die Ermittlung der Farbtemperatur. Eine der erwähnten allgemeinen erfahrungsmäßigen Formeln lautet: Die Kelvintemperatur eines Sternes ist gleich 7200, dividiert durch den um 0,64 vermehrten Farbenindex. Ein A-Stern wie Sirius hat nach Bild 208 den Farbenindex Null, seine Kelvintemperatur ist also 7200 : 0,64, d. h. rund 11 000 Grad.

(14) Sterntemperaturen. Auf Grund der eben angeführten Formeln und Verfahren wurden durchschnittliche Sterntemperaturen für die einzelnen Spektralklassen ermittelt, und es hat sich herausgestellt, daß die spektrale Skala einer reinen Temperaturskala gleichkommt, so daß man im großen und ganzen aus dem Spektrum die Temperatur angeben kann. Allerdings verläuft dieser Zusammenhang für Riesen und Zwerge nicht ganz konform. — Es sind die Kelvintemperaturen für die einzelnen Spektraltypen folgende:

Spektrum	Bo	Ao	Fo	Go	Ko	Mo
Riesen	23 000	11 000	7400	5500	4100	3100
Zwerge	23 000	11 000	7400	6000	5100	3400

Die O-Sterne sind noch heißer, als die vom B-Typ. Im allgemeinen bewegen sich die Temperaturen der Sternoberflächen zwischen 30 000 und 2500 Grad Kelvin. Besonders „kalte“ Sterne allerdings, wie man sie unter den Langperiodischen findet, zeigen bis 1650 Grad an. Der gesamte Spielraum ist hiernach also 30 000 : 1650 oder 18 : 1. Da sich (Seite 302) die Strahlungen je Quadratzentimeter Oberfläche wie die viermal mit sich selbst multiplizierten Temperaturen verhalten, so strahlt ein heißester Stern $18 \times 18 \times 18 \times 18$mal, d. i. rund 100 000-mal intensiver als einer aus der Gesellschaft der Langperiodischen. Das Verhältnis erhöht sich noch, wenn man die für O-Sterne berech-

neten Temperaturen von 35 000 bis 40 000 Kelvingraden gelten läßt. Für die Innentemperatur hatten wir bei der Sonne viele Millionen Kelvingrade angenommen und einen möglichen Temperaturverlauf von innen nach außen angegeben. Man geht kaum fehl, wenn man für rote Riesen 1 - 5 Millionen, für die Sterne der mittleren Hauptserie 50, für die weißen Zwerge über 100 Millionen Kelvingrade als Temperatur der Sternmitte annimmt.

(15) Temperatur und Masse. Da nach dem eben Mitgeteilten die Temperatur mit dem Spektrum eng zusammenhängt, und dieses zum Teil wieder mit der Masse, so besteht auch ein Zusammenhang zwischen Temperatur und Masse, den Bild 244 veranschau-

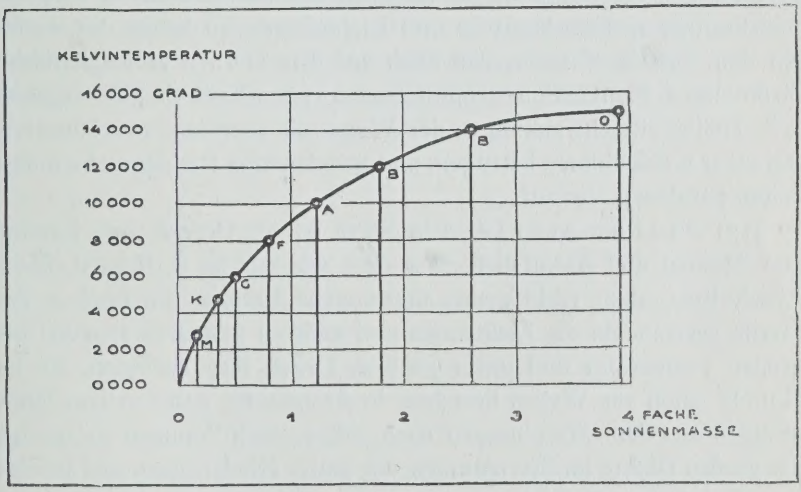


Bild 244. Zusammenhang zwischen Masse und Temperatur

lichen soll. Die statistisch belegbare Kurve zeigt, daß B-Sterne im allgemeinen 2 - 3fache, O-Sterne auch 4fache, die F-, G-, K- und M-Sterne geringere Masse aufweisen als die Sonne. Deuten wir die Kurve kosmogonisch, dann könnte unsere Sonne bei der ihr ureigenen Masse einst eine Oberflächentemperatur von 9000 Grad Kelvin gehabt haben, keine höhere. Sie war also auf der Höhe ihres Lebens etwa ein A-Stern und ist dann nach Durchgang durch den F-Zustand das geworden, was sie heute ist, ein G-Zwerg.

(16) Rotation und Strömungen. In Anbetracht der Tatsache, daß alle Himmelskörper, die wir kennen, sich relativ zu ihrer

größeren Umgebung drehen, ist es mehr als wahrscheinlich, daß auch die Sternkörper um eine durch die Sternmitte gehende Achse rotieren. Verbreiterungen von Spektrallinien und die Art der Verbreiterung können zum Teil als Radialeffekt gedeutet werden, wenn die Rotationsachse als zur Gesichtslinie senkrecht angenommen wird. Da die Rotationsachsen der Sterne nicht relativ zur Erde orientiert sein können, muß es auch solche Sterne geben, deren Achse auf uns zu zeigt. Bei diesen kann von einem Radialeffekt keine Rede sein. Tatsächlich findet man, wenn man das Aussehen der Linien für die Sternrotation verantwortlich macht, alle Übergänge und Geschwindigkeiten zwischen Null und hohen Geschwindigkeiten, die bis 300 Kilometern je Sekunde gehen. Heiße Sterne scheinen besonders rasch zu rotieren. Gleichzeitige spektroskopische und Lichtmessungen haben des weiteren den Beweis erbracht, daß auch auf den Sternen atmosphärische Strömungen, Konvektionsströmungen, zu verzeichnen sind. So ergaben z. B. Helligkeitsschwankungen der Wega, die allerdings nur Hundertstel einer Größenklasse betrugen, und gleichzeitige Radialgeschwindigkeiten parallelen Verlauf.

(17) Sternmaterie. Ein Stern ist im Grunde eine Summe von Atomen und Atomteilen, aber eine, wie wir im 8. Kapitel dieses Abschnittes sahen, recht genau abgewogene Summe. Im Inneren der Sterne verwandeln die Elektronen und anderen atomaren Partikel bei großer Temperatur und unter großem Druck ihre Energien, die im Grunde schon aus Wellen bestehen, in Ätherstöße, Ätherwellen. Diese drängen aus dem Sterninneren nach außen, doch kommen sie infolge der großen Dichte im Sterninneren vor lauter Hindernissen und infolge unendlichfältiger Reflexion an allen, ihren Weg kreuzenden Partikeln nur langsam vorwärts, so daß sie nach einer hypothetischen Überschlagsrechnung von der Sternmitte bis zur Oberfläche unter Umständen viele tausende bis eine Million Jahre brauchen. Dies ist nicht nur gegenüber der Lichtgeschwindigkeit, die die Ätherwellen von Natur aus besitzen, äußerst wenig, sondern auch nach den Begriffen des Alltags: jeden Tag ein Vorwärts von nur sehr wenigen Metern! — Unsere Vorstellungen vom inneren Bau der Sterne wechseln selbstredend mit denen ab, die sich die heutige-morgige suchende Atomphysik zurechtlegt. Es kann aber als sicher gelten, daß der schon ausgesprochene Vergleich eines Sternes mit einem riesigen Schmelztiegel statthaft ist. Allerdings ist das, was wir hier auf Erden als

Materie oder Substanz ansprechen, dort in den Sternen in Bestandteile aufgelöst. Protonen und freie Elektronen und regelrechte Röntgenstrahlen, die freilich unsagbar dichter sind als die des Experimentalphysikers, liefern in ihrer organischen Gesamtheit das, worum es sich bei einem Stern wie auch bei der Sonne handelt, die nichts anderes ist als einer der vielen vielen Milliarden Sterne. Ein Stern ist, wie vorhin gesagt, eine Summe von Atomen und Atomteilen, aber — und diese Ergänzung ist wichtig — eine recht genau abgewogene, also nicht zufällige Menge, eine, deren Masse letzten Endes in einem bestimmten Verhältnis zur Masse etwa eines Elektrons stehen muß. Vielleicht gelingt es einer späteren, umfassenderen Theorie, auch aus diesem universellen Verhältnis heraus sämtliche immerhin auffälligen Zusammenhänge zu erklären, die wir in diesem unserem sternphysikalischen Abschnitt beschreiben wollten, der nur eine kleine Auswahl aus den zahlreichen Sternproblemen bringen wollte.

SECHSTER ABSCHNITT

STERNHAUFEN UND GALAKTISCHE NEBEL

Sternhaufen / Einteilung der Sternhaufen / Bärenfamilie / Offene Haufen / Plejaden / Hyaden / Offene und Kugelhaufen / Erfassung der Kugelhaufen / Entfernung und Größe / Sternreichtum und Dichte / Spektren und absolute Größen / Innere Bewegungen / Grüne und weiße Nebel / Diffuse Nebel / Planetarische Nebel / Dunkle Nebel

(1) Sternhaufen. Grundbedingung dafür, daß eine Anzahl von Sternen als Sternhaufen bezeichnet wird, ist deren physische Zusammengehörigkeit. Diese kann sich in gemeinsamer Bewegung äußern wie bei den Hyaden im Stier oder in der gemeinsamen spektralen Verfassung wie bei den Krippen- oder Präsepesternen, die um so roter sind, je schwächer sie leuchten, oder in einer Konzentriertheit, die weit über das Maß dessen hinausgeht, was nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit als Zufall anzunehmen ist, wie z. B. bei den Kugelhaufen (Bildtafel XIX), deren äußere Form schon ein weiteres und das gewiß sicherste Kennzeichen eines physischen Systems ist. — Wäre uns irgend ein Haufen viel näher, so würde er uns als großes Sternbild erscheinen, dessen Sterne weit verteilt sein könnten, ja wir könnten auch mitten in einem oder gar mehreren solchen Haufen stecken. Im Gegensatz zur Kassiopeia, deren Sterne nur zufällig beisammenstehen und zufällig das große „W" bilden, ist das Sternbild des Himmelswagens insoferne ein physisch zusammengehörendes System, als einige seiner Sterne zusammen mit solchen anderer Bilder gemeinsame, zueinander parallele Totalgeschwindigkeiten besitzen. Es steht nichts im Weg, diese sogenannte Bärenfamilie oder ähnliche große Gruppen sowie ganze Sternwolken Sternhaufen zu nennen, und zwar „galaktische", d. h. zur Milchstraße gehörige, was auch tatsächlich geschieht. In diesem Abschnitt schließen wir jedoch von vornherein die Sternhaufen aus, die den Spiralnebeln oder anderen, sehr weit entfernten „außergalaktischen" Sternsystemen angehören.

(2) Einteilung der Sternhaufen. Wir beschränken uns

auf das System, das wir das große galaktische System nennen, dem als Ganzem der nächste Abschnitt gewidmet ist. Dem dort Gesagten nehmen wir vorweg, daß es sich insgesamt bis zu einem Betrage von 90 000 Lichtmeilen und darüber hinaus ausdehnt, und daß wir, d. h. das Sonnensystem, in ihm ziemlich exzentrisch liegen. Innerhalb dieses Systems unterscheiden wir also Sternwolken, Sternfamilien, offene und Kugelhaufen. Die offenen Haufen werden auch die „bewegten" genannt. — Die hier folgende Zusammenstellung enthält neben einem typischen Beispiel eine kurze Kennzeichnung und Bemerkungen über das Vorkommen der einzelnen Sternhaufenkategorien.

Nr.	Haufenart (und Beispiel)	Beschreibung
1.	Sternwolken (im Schwan)	Teile des Milchstraßenganzen und große Systeme bevorzugter Bewegungsrichtungen
2.	Sternfamilien (Bärensterne)	Wenige Sterne über große Himmelsteile verstreut
3.	Offene Haufen (Krippe)	Unregelmäßig, wenig dicht, mitunter mit Nebelmaterie durchsetzt. Galaktische Mittelzone bevorzugt
4.	Kugelhaufen (Herkuleshaufen)	Rund, Mitte dichter, viele Sterne auf relativ engem Raum. Galaktische Mittelzone gemieden, symmetrisch zu ihr verteilt.

Daß die Kugelhaufen den eigentlichen Milchstraßen- oder galaktischen Äquator meiden, ist keine objektive Erscheinung. Sie kann durch Absorption eines an und für sich weiter nicht bekannten Mittels erklärt werden, worauf wir im Kapitel „Erfassung der Kugelhaufen" zurückkommen werden. — Die helleren Haufen werden gewöhnlich unter der in den „Himmelstafeln" verzeichneten Messiernummern oder nach dem NGC, d. h. dem „Neuen Generalkatalog" angeführt. So hat z. B. die Krippe im Krebs die Benennung „Messier Nr. 44" oder „Neuer Generalkatalog Nr. 2632". Man schreibt kurz „M 44" oder „NGC 2632".

(3) Bärenfamilie. Prächtige Sternwolken zeigt u. a. die Bild-

tafel XXIII. — Eine Hauptvertreterin der Sternfamilien — ein Name, der den Gegenstand besser bezeichnet als der Begriff Sternstrom, der bloß eine mechanische Äußerung des Gegenstandes beinhaltet — ist die Bärenfamilie, die außer fünf hellen Sternen des Wagens noch zahlreiche andere Sterne umfaßt, von denen wir einige wichtige im Bild 245 hervorgehoben haben. Sie zeigen sämtlich eine gemeinsame

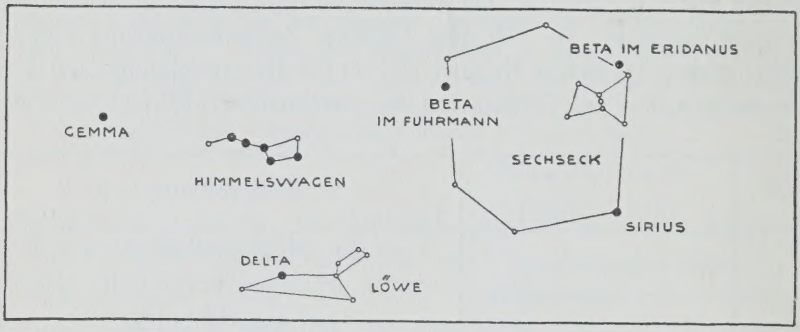


Bild 245. Bärenfamilie. Die schwarzbezeichneten Sterne verschiedener Sternbilder gehören zu dieser Familie.

Bewegung gegen einen Punkt zwischen Schütze und Steinbock. Ihre Geschwindigkeit ist rund 18 Kilometer je Sekunde. Die regelrechte „Familienähnlichkeit" ist auch dadurch gekennzeichnet, daß alle im Bild hervorgehobenen Sterne dem Spektraltypus A angehören. Schwächer leuchtende Sterne haben allerdings den diesem Spektrum benachbarten F-Typ. Auch die hellen Sterne im Orion, im Perseus und im Skorpion, im Schützen, im Sternbild der Segel sind als physisch zusammengehörig wirkliche Sternfamilien, während die auffälligen Sterne der Kassiopeia, des Adlers und des großen Hundes u. a. nur zufällig die bekannten Figuren bilden, also rein optisch-perspektivische Bilder sind. Ein Vergleich mit der Einteilung der Doppelsterne in physische und optische ist naheliegend.

(4) Offene Haufen. Solche sind die Krippe, Hyaden und Plejaden, der Doppelsternhaufen im Perseus, das Geflimmer im Haar der Berenike, der Haufen M 67 im Krebs zwischen der Krippe und dem Kopf der Wasserschlange u. v. a. Man hat versucht, die über 300 bisher katalogisierten offenen Haufen nach der Anzahl ihrer Sterne, nach der Sterndichte und der Dichtenzunahme gegen die Haufenmitte hin in verschiedene Klassen einzuteilen. Die sicherste

Scheidung ist wohl die nach den vorherrschenden Spektraltypen. So gehören die Plejadenspektren dem Typ zwischen B und A an, die der Hyaden den Klassen A bis K, so daß man einen Plejaden- und einen Hyadentyp als spektrale Kennzeichnung der Haufen festsetzen kann. Der Sternhaufen Ha-Chi im Perseus hat Plejadentyp, ebenso der Haufen M 36 im Fünfeck des Fuhrmannes und M 34 im Perseus zwischen Algol und Alamak. Hyadentyp weisen u. a. auf: die Krippe, dann M 11 bei Beta im Schild, M 37 zwischen Beta und Theta im Fuhrmann und die Berenikegruppe. — Der Umstand, daß in einem engen Haufen alle Sterne als ungefähr gleich weit angesehen werden können, gibt den Entfernungsbestimmungen eine unschätzbare statistische Sicherheit. Wo die Untersuchung einzelner Sterne hinsichtlich ihrer Entfernung versagt, kann aus dem Vergleich der Winkeldurchmesser ganzer Haufen auf deren Entfernung geschlossen werden. Man findet im allgemeinen offene Haufen bis zu 9000 Lichtmeilen Entfernung, selten entferntere. Die hellsten Haufen sind zugleich die nächsten.

(5) Plejaden. Der auffällig flimmernde, lebendige kleine Sternhaufen der Plejaden im Sternbild des Stieres erscheint im Fernrohr sehr ausgedehnt und umfaßt insgesamt weit über 200 Sterne. In Bild 246 sind die neun hellsten Plejadensterne zusammengestellt. Da

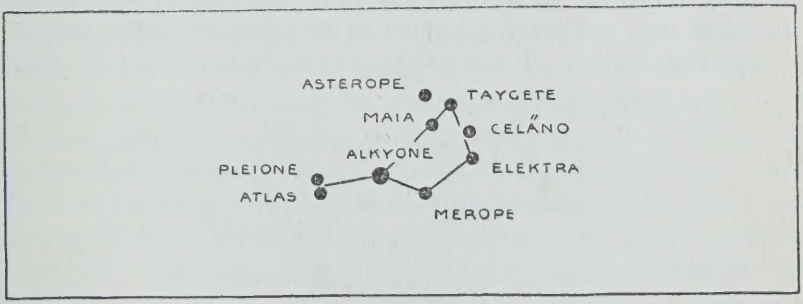


Bild 246. Hellere Plejadensterne. Ihre Anordnung ähnelt der des Himmelswagens.

ein gutes Auge im allgemeinen sieben hievon wahrnehmen kann, führt der Haufen auch den Namen Siebengestirn. Er sieht in der Anordnung der Sterne dem Himmelswagen etwas ähnlich und wird auch die Gluckhenne mit den Küchlein, auch die Tauben, die sieben Schwestern, auch der Blumenstrauß genannt. Der mit freiem Auge

sichtbare helle Haufen, das eigentliche Siebengestirn, mißt querdurch nur etwa 1 Grad. Innerhalb eines Kreises von 2 Grad Durchmesser sind 170 teleskopische Plejaden gezählt worden, während außerhalb dieses Gebietes bis zu 3 Grad Entfernung von Alkyone bei derselben Zählung noch weitere 70 Sterne als zum selben System gehörig ermittelt wurden. Die Entfernung der Plejaden beträgt etwa 400 Lichtmeilen, ihre jährliche Eigenbewegung, ungefähr südwärts gerichtet, etwa $^1/_{20}$ Bogensekunde.

(6) Hyaden. Die Bewegungen dieser Sterne sind im Kapitel „Hyadenproblem" im dritten Abschnitt dieses stellaren Teiles beschrieben worden. Der eigentliche Haufen mit seinen etwa 200 Sternen mißt etwa 30 bis 40 Lichtmeilen querdurch und ist rund 120 Lichtmeilen weit entfernt. Zum Hyadenstrom als solchem gehören übrigens vermutlich über 1000 Sterne, die fast über den ganzen Himmel zerstreut liegen. Von den absolut hellsten Sternen der engeren Gruppe sind etwa 40 lichtstärker als unsere Sonne. Die Skizze Bild 222 zeigt den Spaziergang der Hyaden für den Zeitraum von 65 Millionen Jahren. Der große Haufen wird dann als enges teleskopisches Objekt bei „ „Beteigeuze" " sein. Die doppelten Anführungszeichen sollen daran erinnern, daß wir statt Beteigeuze die heutige sonnenzentrische Richtung im Weltall zu nehmen haben, die nach 65 Millionen Jahren nur einer ewig unbewegt gedachten Sonne und einer ewig unbewegt gedachten Beteigeuze entsprechen würde.

(7) Offene und Kugelhaufen. In bezug auf die Milch-

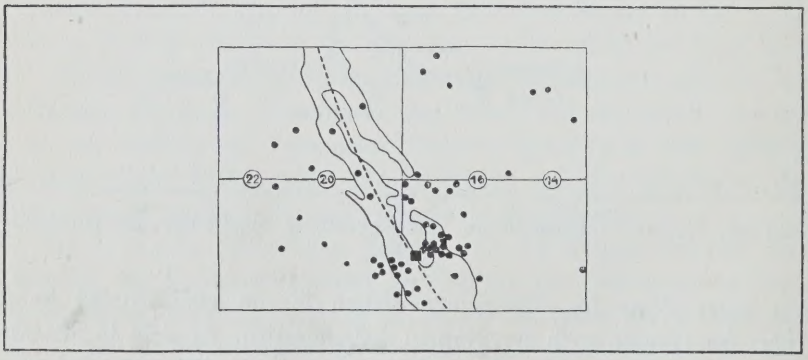


Bild 247. Statistik der kugelförmigen Sternhaufen. Ihre Verteilung bezüglich des gestrichelten Milchstraßenäquators. Bloß eine Himmelshälfte. Das schwarze Quadrat bedeutet das Zentrum der Welt der Kugelhaufen.

straße zeigen offene und Kugelhaufen eine deutlich getrennte Anordnung. Die offenen Haufen bevorzugen einen 10 Grad breiten symmetrisch zur Milchstraße liegenden Gürtel. Die Kugelhaufen fehlen im Milchstraßenäquator selbst, zeigen aber eine symmetrische Verteilung zu beiden Seiten desselben und sind bei etwa 20 Grad galaktischer Breite nördlich wie südlich relativ zahlreich. Man kennt etwa 100 galaktische Kugelhaufen und es ist nicht anzunehmen, daß deren Anzahl eine nennenswerte Vergrößerung erfahren wird. Aus Bild 247 ist die Verteilung der Kugelhaufen auf der von ihnen entschieden bevorzugten Himmelshälfte zu ersehen. Jeder Punkt bedeutet einen Kugelhaufen, das schwarze Quadrat (17.30 - 30) das Zentrum des galaktischen Systems, wo der Schwerpunkt des ganzen räumlichen Systems der Kugelhaufen zu liegen scheint.

(8) Erfassung der Kugelhaufen. Der Unterschied „photographische minus visuelle Größe", in Kugelhaufen an helleren Sternen feststellbar, liefert die Farbenindexe für die einzelnen Sterne. Aus dem Farbenindex läßt sich mit einiger Sicherheit der Spektraltyp der Sterne ermitteln. Es handelt sich hier in erster Linie um Riesen und Überriesen. Zwerge kommen nicht vor, können jedenfalls nicht gesehen werden. — In den Kugelhaufen sind die kurzperiodischen Zepheiden sozusagen zu Hause. Ihre Lichtperiode ist aus mehreren Aufnahmen direkt bestimmbar. Sie liefert nach dem Zepheidengesetz (Bild 227) die absoluten Größen, der Unterschied „absolute minus scheinbare Größe" den Entfernungsmodul, also damit auch die Entfernung der einzelnen Sterne und somit die des ganzen Haufens. — Haufen, in denen man wegen ihrer offensichtlich zu großen Entfernung Einzelsterne schwer beobachten kann, bei denen also die geschilderte Methode der Distanzbestimmung versagt, werden bezüglich ihres Winkeldurchmessers mit anderen, bereits sicher bestimmten verglichen. Unter der statistisch erlaubten Annahme, daß alle Kugelhaufen im großen Durchschnitt denselben in Lichtmeilen ausdrückbaren Durchmesser haben, gilt die Regel, daß z. B. ein Haufen mit 5 Bogenminuten querdurch zweimal entfernter ist als einer mit 10 Bogenminuten Durchmesser. — Unter integraler Sterngröße versteht man die scheinbare Größe, die ein Haufen hätte, wenn sein gesamtes Licht in einen einzigen Punkt, gleichsam wie in einen Stern zusammengedrängt werden könnte. Auch diese Integralhelligkeit dient im Wege des Vergleichens zur Ermittlung der Entfernung oder

zur Prüfung eines bereits angewandten anderweitigen Verfahrens. — Die Erfahrung hat gezeigt, daß man auch mit einer weiteren Methode Ergebnisse zeitigt: Man rechnet zunächst rein willkürlich damit, daß die fünf scheinbar hellsten Sterne im Bereich des Haufengebietes „Vordergrundsterne" sind, die sich zufällig auf den viel entfernteren Haufen projizieren. Diese Sterne werden aus der Rechnung grundsätzlich ausgeschieden. Die dann folgenden 20 hellsten werden auf ihre scheinbare Helligkeit hin gemessen und eine durchschnittliche Größenklasse berechnet. Es hat sich dabei gezeigt, daß dies Mittel etwa eine Größenklasse heller ist, als die durchschnittliche Helligkeit der Zepheiden, so daß dieses Auswahlverfahren einen Ersatz für die Zepheidenmethode abgeben kann. — Eine große Rolle spielt bei der Prüfung der Entfernungsbestimmungen die schon erwähnte Ab-

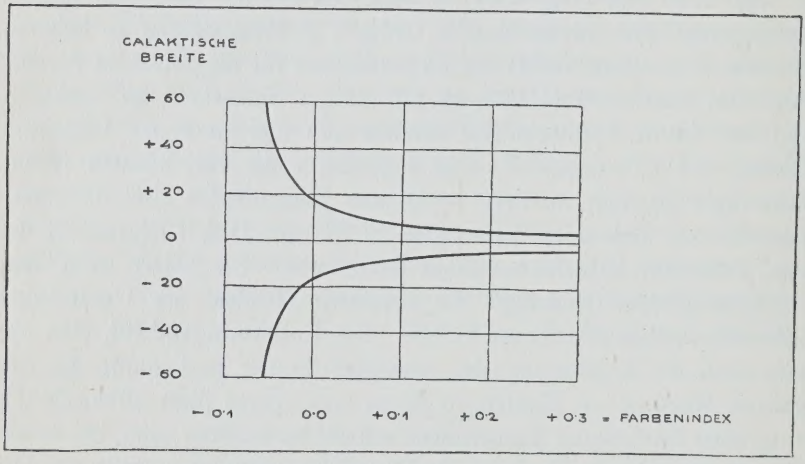


Bild 248. Farbenindex der Sterne und galaktische Breite

sorption in der Gegend der Milchstraße. Sie ist aus der Statistik der in den Kugelhaufen vorherrschenden Farbenindexe ermittelt worden und zeigt nach Bild 248 eine Veränderung der Farbenindexe in dem Sinne, daß die Objekte gegen die galaktische Ebene immer roter werden. Es muß also bei Entfernungsmessungen auf diese Absorption Rücksicht genommen werden, die im Gebiet des Milchstraßenäquators die Resultate verfälscht, sie bis zum Betrag von 60 Prozent vergrößert.

(9) Entfernung und Größe. Der nächste Kugelhaufen

ist der sogenannte Omegahaufen NGC 5139 im Zentauren, als fernster wird ein Haufen NGC 7006 angegeben. Im großen und ganzen bilden, von einzelnen sehr entfernt liegenden Objekten abgesehen die Haufen ein System, dessen Durchmesser rund 90 000 Lichtmeilen beträgt (Bild 249). — Der Durchmesser eines mittelgroßen Kugelhaufens

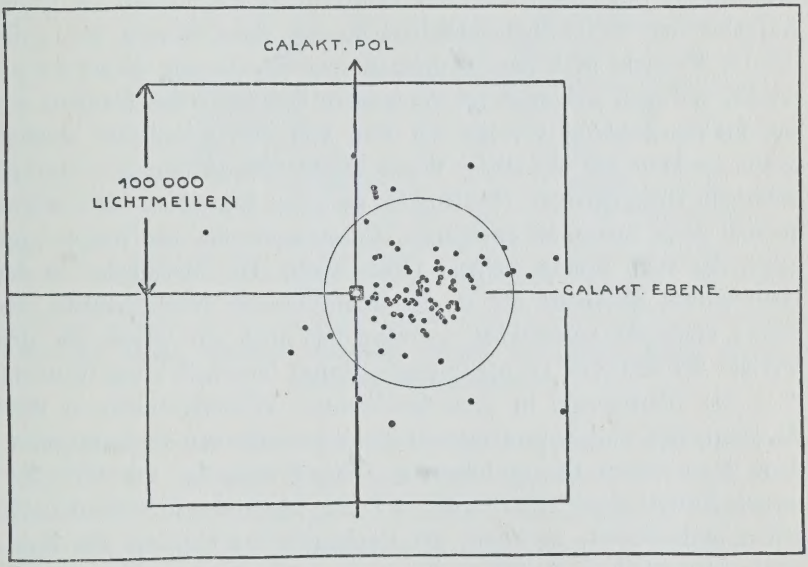


Bild 249. Welt der Kugelhaufen. Kleines Quadrat Sonnengegend. Hauptmenge innerhalb eines Kreises von 45 000 Lichtmeilen im Halbmesser.

faßt 100 Lichtmeilen. Freilich ist anzunehmen, daß selbst der besten optischen Kunst bei der enormen Entfernung besonders lichtschwache Sterne entgehen, deren Feststellung die Grenzen eines Haufens in Wirklichkeit noch bedeutend erweitern würden. Die Haufen sind zum Teil abgeplattet und rotieren, doch ist eine Bevorzugung einer bestimmten Richtung, auf die die Rotationsachsen hinweisen, nicht feststellbar. Sie wäre kosmologisch und kosmogonisch gewiß interessant. Es sind alle möglichen Neigungen der Drehachsen gleichmäßig vertreten.

(10) Sternreichtum und Dichte. Die Anzahl der Sterne in einem Haufen — man vergleiche die Photographie auf Bildtafel XIX — kann nur auf Umwegen bestimmt werden. Einer solchen indirekten Zählung liegt folgendes Verfahren zu Grund: Man zieht um die Mitte des Haufens konzentrische Kreise in Abständen von

beispielsweise je 2 Millimetern bis an den Rand der photographischen Platte. Innerhalb eines jeden dieser Kreisringe werden die Sterne gezählt, deren photographische Spuren sich feststellen lassen. Die so erhaltenen Zahlen werden graphisch aufgetragen und die sich ergebenden Marken durch eine Kurve verbunden, die demnach die Zunahme der Sternanzahl von außen nach der Haufenmitte zu anzeigt. — Es ist Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung, diese Kurve bei peinlichster Vorsicht nach rein mathematischer Überlegung derart fortzusetzen, daß man sich auch für die inneren Gegenden des Haufens, wo die direkte Zählung versagt, ein Bild von der Sterndichte machen kann. — Man hat auf diese Weise selbst eine Million von Sternen innerhalb eines einzigen Haufens als verbürgt angesehen. Das wären 400mal mehr Sterne als das ganze Himmelsgewölbe dem freien Auge zeigt, das auch Sterne sechster Größe sieht. Die Sterndichte in der Haufenmitte übertrifft die in der unmittelbaren Nachbarschaft der Sonne vielleicht tausendmal. — Man hat auch ein Gesetz für den Verlauf der relativen Dichte in einem Punkt innerhalb eines Haufens, d. h. der Sternanzahl in einer bestimmten Volumeneinheit in ihrer Abhängigkeit vom Zentralabstand dieses betreffenden Punktes gefunden. Das Gesetz besagt folgendes: Wenn man das um Eins vermehrte Drittel des Quadrates dieses Zentralabstandes fünfmal mit sich selbst multipliziert, so ergibt die Rechnung das Quadrat des Kehrwertes der relativen Dichte.

(11) Spektren und absolute Größen. Die absoluten Größen sind in den Sternhaufen nicht gleichmäßig verteilt. In den verschiedenen Haufen sind oft bestimmte absolute Größen bevorzugt. Die Einordnungen in das stellare Hauptdiagramm zeigen bei den einzelnen Haufen Sonderheiten. In Bild 250 sind rhomboidische Felder und Doppelfelder gezeichnet, die roh schematisch die Punkte im Hauptdiagramm einschließen, die den Sternen der Kugelhaufen M 13 im Herkules und M 11 im Schild und der offenen Haufen M 37 im Fuhrmann und M 67 im Krebs angehören. Eine Kosmogonie der Kugelhaufen wird sicher von derartigen Figuren ihren Ausgang nehmen.

(12) Innere Bewegungen. Die Bewegungen in einem Kugelhaufen sind mit denen in einer Gasmenge verglichen worden uns es sind auch schon Gesetze der kinetischen Gastheorie zur Behandlung dieser stellaren Bewegungen herangezogen worden. Wie in

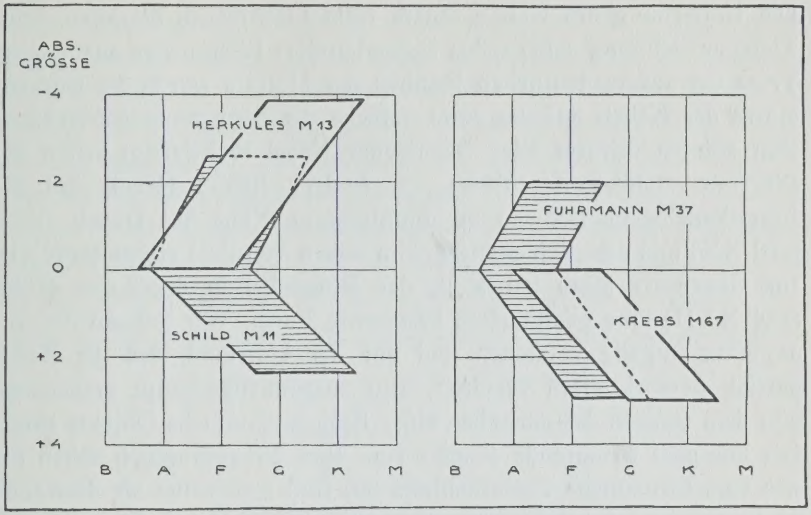


Bild 250. Sterne innerhalb einzelner Haufen. Die Punkte dieser Sterne im stellaren Hauptdiagramm

der Erdkugel ein Massenpunkt nur von der Masse innerhalb der um die Erdmitte gelegten Kugelfläche angezogen wird, die durch den betreffenden Massenpunkt geht, so werden auch Sterne in Kugelhaufen nur von den Sternen angezogen, die dem Massenschwerpunkt näher sind als der betreffende Stern. — Die Theorie der möglichen Bahnformen ergibt u. a. — alles nur in der Theorie — folgendes: Da, wenn sie nicht gerade in Kreisen umlaufen, die einzelnen Sterne in Ellipsen gehen oder geradlinig um die Haufenmitte pendeln, so sind die auf sie wirkenden Kräfte in allen Punkten verschieden. Aber die Kräfte lassen sich insoferne bestimmen, als wir nach dem früher Gesagten die relativen Dichten in den konzentrischen Kugelschalen kennen. So lassen sich für alle Abstände vom Zentrum Geschwindigkeiten ermitteln. — Sind aber für einen Massenpunkt, in diesem Fall also einen Stern im Kugelhaufen, der Zentralabstand und die Geschwindigkeit gegeben, dann ist — wenn wir Bild 135 vor Augen halten, für die Bahnbestimmung dieses Sternes der Grund gelegt.

(13) Grüne und weiße Nebel. Unser Titelbild (Tafel I) zeigt eine Photographie des auch mit freiem Auge als heller Fleck wahrnehmbaren Orionnebels. In Bild 50, das Orion als Hirten darstellt, ist die Nebelgegend unterhalb der drei Gürtelsterne schraffiert.

Die Entfernung des Nebels dürfte 1000 Lichtmeilen betragen, seine Tiefenausdehnung dabei selbst einige hundert Lichtmeilen ausmachen. Trotz der außerordentlichen Feinheit der Materie wurde die Gesamtmasse des Nebels auf das rund 70fache der Sonnenmasse geschätzt. Den Namen diffuser oder chaotischer Nebel rechtfertigt schon der allererste Anblick des Bildes. — Andere diffuse Nebel sind der Amerikanebel im Schwan in unmittelbarer Nähe des Deneb (Bildtafel XX) und ein „Schleiernebel" im selben Sternbild (Bildtafel XXI). Im Gegensatz hiezu hat z. B. der Ringnebel in der Leier (Bildtafel XXII) eine geometrisch bestimmte Form. Wir müssen ihn uns ungefähr kugelig vorstellen und nur der Umstand, daß die Randpartien perspektivisch verjüngt, also zusammengedrängt erscheinen, gibt dem Ganzen das Aussehen eines Ringes. Ähnliche Objekte haben fast kompakt anmutende Kugelform. Ihre Photographien sehen oft wie verschwommene Planetenbilder aus und man nennt sie deswegen im Gegensatz zu den diffusen die planetarischen Nebel. Ein typischer planetarischer Nebel ist auch der relativ helle Hantelnebel im Sternbild des Fuchses. Sowohl die diffusen als auch die planetarischen gehören dem galaktischen System an und heißen deshalb auch galaktische Nebel. Eine besonders helle grüne Spektrallinie erklärt den grünlichen Farbton und sie heißen deshalb mitunter auch grüne Nebel, im Gegensatz zu den außergalaktischen weißen Nebeln, deren interessanteste Vertreter Spiralform zeigen (Bildtafeln XXVI bis XXIX).

(14) Diffuse Nebel. Über die Natur der diffusen Nebel kann der Spektralbefund entscheiden. Sie bestehen aus feinverteilter Materie und heißen deshalb auch Gasnebel. Zunächst darf angenommen werden, daß die diffusen Nebel im Licht benachbarter Sterne leuchten. Die Spektren der Nebel und der entsprechenden Sterne ähneln einander. Ausgesprochene Emissionslinien im Nebelspektrum entstehen vielleicht dadurch, daß die freien Atome des Nebels die von den Sternen ausgestrahlte Energie aufnehmen und wieder abgeben, doch scheinen die Nebelteilchen das Sternlicht auch nur einfach zu reflektieren. Was die Ausdehnung der diffusen Nebel anbelangt, so kann sie Bruchteile eines Grades bis mehrere Grade betragen. Die tatsächlichen Dimensionen zählen bis zu einigen hundert Lichtmeilen.

(15) Planetarische Nebel. Sie zeigen ausgesprochenes Gasspektrum und sind als Kugeln vorzustellen, die etwa aus konzentri-

schen Schalen verschiedener Dichte aufgebaut sind. Sie besitzen in der Regel Zentralsterne, die wie im Falle der diffusen Nebel das Leuchten der planetarischen Nebel verursachen Der Durchmesser beträgt oft weniger als 1 Bogenminute, größere Nebel zählen bis zu 15 Bogenminuten querdurch. Die Zentralsterne gehören zu den heißesten Sternen, zur Wolf-Rayet- oder O-Klasse. Ihr Licht erhalten die Nebelschalen sicher von den Zentralsternen. — Die Entfernungen der planetarischen Nebel betragen bis zu vielen hundert Lichtmeilen, doch können die Berechnungen nicht als definitiv angesehen werden. Was

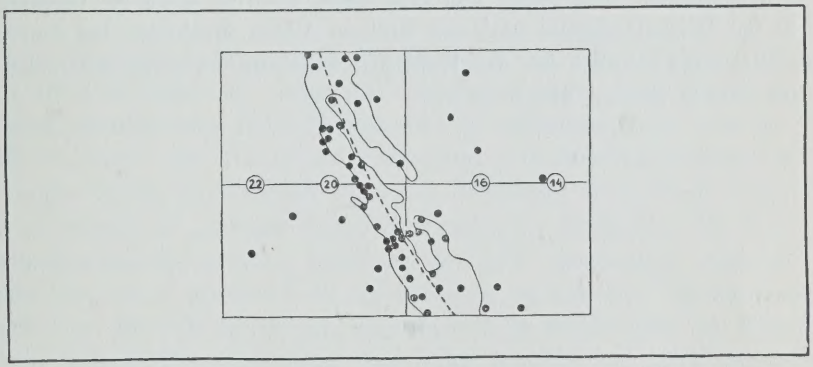


Bild 251. Planetarische Nebel. Ihre Verteilung relativ zum galaktischen Äquator. Bloß eine Himmelshälfte

die Verteilung der planetarischen Nebel anbelangt, so zeigt sich eine deutliche Verdichtung gegen die Ebene der Milchstraße. In Bild 251 sind die Objekte einer Himmelshälfte aufgetragen. — An einigen planetarischen Nebeln konnten Rotationen nachgewiesen werden. Für den Ringnebel in der Leier wurde auch dessen Durchmesser zu ermitteln versucht. Man errechnete hiefür 170 Milliarden Kilometer.

(16) Dunkle Nebel. In den Bildtafeln XXIV und XXV finden wir derartige Gebilde. Ein auffälliger Dunkelnebel ist auch der „Kohlensack" beim Südlichen Kreuz. Sie bestehen zum großen Teil aus kosmischem Staub und sind wie die bisher besprochenen Haufen und Nebel ebenfalls „galaktische" Gebilde. Sie durchziehen nicht selten besonders sternreiche Gegenden und es ist möglich gewesen, ihre Entfernung auf rein statistischem Weg zu ermitteln. Es wurde in ihrer Umgebung die Verteilung der Sterne innerhalb einer jeden Größenklasse ermittelt. Den Größenklassen entsprechen, wie wir

früher sahen, durchschnittliche Entfernungen. Hört nun in einem Dunkelnebel die Sternmenge mit einer bestimmten Sterngröße auf, dann entspricht diese etwa der Entfernung des Dunkelnebels. Die beobachteten Sterne liegen v o r der dunkeln Masse. — Man fand nach dieser Zählmethode für zwei dunkle Nebel im Schwan 1500, für einen Dunkelnebel im Schild bis über 2000 Lichtmeilen Entfernung. — Es ist sicher, daß weite Himmelsgebiete von solchen kosmischen Massen durchzogen werden. Zunächst ist die mit freiem Auge sichtbare Milchstraße auf zwei Fünftel ihres Weges der Länge nach gespalten. Hier liegen Dunkelmassen, doch ist auch die Gegend um den Milchstraßenpol stark mit dunkeln Adern durchsetzt, bei denen es allerdings möglich ist, daß Kontrasterscheinungen stark mitspielen und dunkle Stellen vortäuschen.

SIEBENTER ABSCHNITT
GALAKTISCHES SYSTEM

Raumlotung / Lokales System / Großes galaktisches System / Rahmenschema / Zentralsystem / Struktur des galaktischen Systems / Rotation / Rasche Sterne / Ruhende Linien / Stellarer Maßstab

(1) Raumlotung. Die Sterndichte an der Himmelskugel ist, wie der erste Abschnitt dieses stellaren Teiles zeigte, hinsichtlich des Milchstraßenäquators deutlich symmetrisch angeordnet, und zwar so, daß die Anzahl der Sterne je Quadratgrad vom Milchstraßenäquator nach den beiden galaktischen Polen hin abnimmt. Nun haben es die verschiedenen im zweiten Abschnitt erwähnten Methoden der Entfernungsmessung möglich gemacht, die bloß sphärischen Zahlenbilder des ersten Abschnitts in räumliche zu verwandeln. Es werden Punkte an der Himmelskugel, eigentlich bloße Richtungen, zu Vektoren, in deren Ursprung unser Auge oder, was hier auf dasselbe herauskommt, die Sonne steht, oder noch besser der Schwerpunkt eines von der Sonne aus bis zu 10 000 Lichtmeilen sich in den Raum erstreckenden Systems von rund einer Milliarde von Sternen. Am äußeren Ende eines solchen Vektors steht je ein Stern, ein Einzelstern zwar, der aber hinsichtlich der Einordnung ins Ganze eigentlich nur als statistisch wertbarer Stern anzusehen ist. — Das Ideal des Problems liegt darin, möglichst für jede Klasse von Sternen, etwa hellerer Sterne überhaupt, oder der Sterne einer bestimmten absoluten Größenklasse oder der Sterne eines bestimmten Spektraltyps, ein Verteilungsgesetz zu finden, nach dem man für beliebig gegebene Punkte des Raumes für jede angebbare Sternkategorie die Dichte, etwa die Sternanzahl je Kubiklichtmeile, bestimmen kann. Was auf diese rein statistische Methode aufgebaut wird, kann natürlich nicht das wirkliche Bild eines Sternsystems liefern, sondern nur ein typisches, ein schematisches Modell. Es scheint dies auf den ersten Augenblick auf einen Mangel der stellaren Wissenschaft hinzudeuten. Es stellt sich aber gerade dies schematisierende Verfahren bei näherem Zu-

sehen als überaus wichtig heraus. Denn nehmen wir an, wir würden tatsächlich von all den vielen Millionen Sternen für jeden einzelnen die Lage „wissen", so wäre dies doch so lange keine befriedigende Wissenschaft, bis wir nicht wieder in Gruppen teilen, ordnen, auswählen, kurzum wieder ein Schema schaffen könnten.

(2) Lokales System. Bild 252 soll die gewonnene räumliche Statistik einigermaßen veranschaulichen. Es ist ein Schnitt durch den galaktischen Äquator. Die oberste Kurve stellt zunächst die in den Raum hinausgelotete Sterndichte dar. Wir finden starke Dichte in

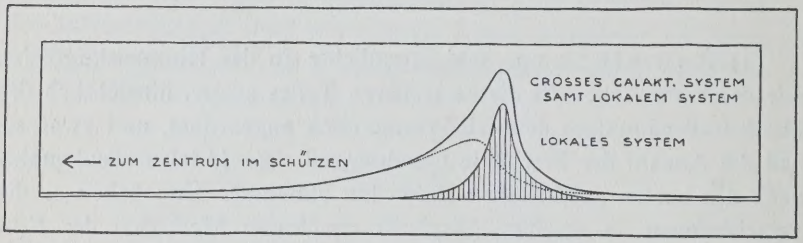
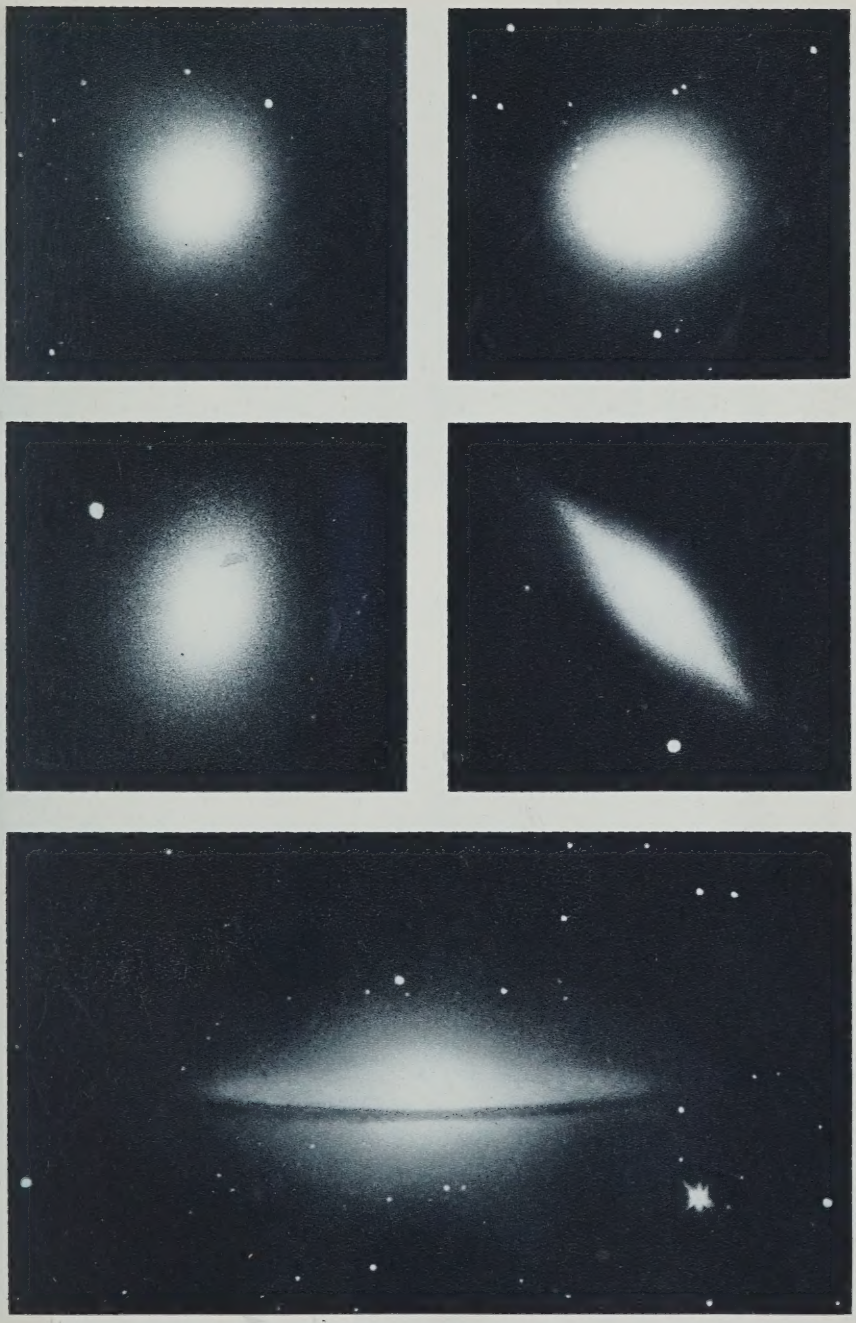


Bild 252. Statistik der Sterne. Die Sonne ist in der Symmetrielinie der schraffierten Figur vorzustellen. Lage des lokalen Systems innerhalb des großen galaktischen Systems

der Nähe der Sonne, allmähliches Abflauen nach der einen Seite, nach dem Schützen hin, und starkes Sinken nach der anderen Seite, gegen die Zwillinge zu. Die auffällig große Anhäufung der Sterne in der Nachbarschaft der Sonne wird auf Grund eingehender Detailstatistik so gedeutet, daß die Kurve als aus zwei weiteren zusammengesetzt erscheint, von denen die eine hinsichtlich der Sonnengegend fast symmetrisch ist, während die flache punktierte Restkurve ihr Maximum außerhalb der Sonnengegend hat und gegen den Schützen zu derart abnimmt, daß sie in großen Entfernungen nahezu waagrecht verläuft. — Die symmetrische Kurve umfaßt nun die etwa Milliarden Sterne, die wir eingangs erwähnten, die — in ihrer Gesamtheit ein abgeflachter Körper bis zu rund 10 000 Lichtmeilen — die Sonne als „lokales System" umgeben. Die Restkurve umfaßt die bedeutend weiter sich erstreckende Menge der Sterne, die man mitsamt dem lokalen System das „große galaktische" oder das Shapleysche System nennt. — Für alle Fälle soll aufmerksam gemacht werden, daß „galaktisches System" bisher das bereits im ersten, sphärischen Teil erwähnte Koordinatensystem bedeutete, dies



Entwicklungszustände der Spiralnebel

Spiralnebel NGC 891

also mit der gleichbenannten Sternwelt nicht zu verwechseln ist.

(3) Großes galaktisches System. Die Kurven in Bild 252 haben nur relative Entfernungen zur Voraussetzung. Versuchen wir, wenn auch nur durch Angabe ungefährer Grenzen das ganze große galaktische System mitsamt dem lokalen in ein Rahmenschema zu stellen, so ist zunächst die wichtigste Tatsache die, daß das System der hundert Kugelhaufen mit dem großen galaktischen System insofern zusammenfällt, als wir anzunehmen berechtigt sind, daß Sterne oder sonstige Sternmaterie bis zu den äußersten Kugelhaufen vorhanden sind. Das große galaktische System ist also der Ausdehnung nach durch die Welt der Kugelhaufen bestimmt, für die, nach dem früher Gesagten folgende durchaus nur vorläufige Dimensionen solange gelten können, bis die sie tragenden Hypothesen endgültig modifiziert und gefestigt sind:

Durchmesser des Ganzen	90 000 Lichtmeilen
Sonnennächster Rand	15 000 Lichtmeilen weit
Sonnenfernster Rand	75 000 Lichtmeilen weit
Sonne bis „Mitte“	30 000 Lichtmeilen.

Auf das Lokalsystem beziehen wir beispielsweise die Sonnentranslation. Wir dürfen es wohl nur als eines von mehreren, ihm ähnlichen Teilsystemen ansehen. Unsere Kenntnis anderer Teilsysteme ist fast nur auf Analogieschlüsse angewiesen. Das Lokalsystem hat seinen Schwerpunkt in der Ebene des galaktischen Äquators. Es kann als Rotationsellipsoid aufgefaßt werden, dessen Äquatorebene gegen die Ebene des galaktischen Äquators um etwa 12 Grad geneigt ist. Die Sonne liegt nur wenig exzentrisch in diesem Lokalsystem und nicht genau in der galaktischen Ebene, sondern etwas nördlich von ihr.

(4) Rahmenschema. Wagen wir es, für die gesamten Anordnungen im großen galaktischen System ein Rahmenschema zu schaffen, so sieht dessen Aufriß — Zwillinge rechts gedacht — etwa so aus, wie es Bild 253 zeigt. Der äußere Rahmen soll ebensowenig wie die anderen Rechtecke bestimmte Gestalten kennzeichnen. Die 45 000 Lichtmeilen nach links und ebensoviele nach rechts, von einem Zentrum aus gezählt, können als Halbmesser einer in der galaktischen Ebene liegenden flacheren Scheibe gedeutet werden. Vielleicht ist Rotationsellipsoid ein passender Name für die galaktische Scheibe. Jedenfalls aber darf auch diese Form nur als ungefähre ein-

hüllende Fläche der schon erwähnten Teilsysteme angesprochen werden. Auch die äußersten waagrechten Linien, 10 000 Lichtmeilen über und ebensoviele unter der galaktischen Ebene, haben mit der wirklichen Form der Grenzen nichts zu tun. Es sind Niveaus, außerhalb

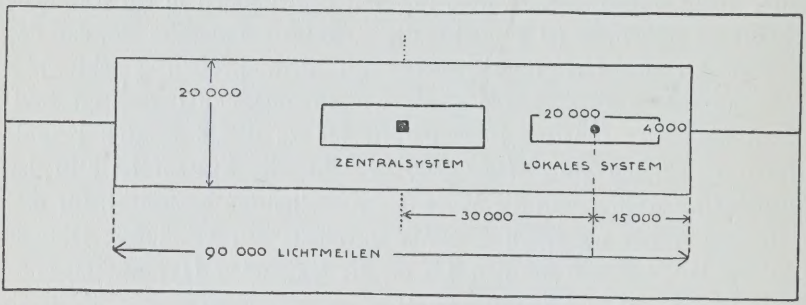


Bild 253. Rahmenschema des großen galaktischen Systems. Schwarzes Scheibchen Sonnenort. Die Zahlen bedeuten Lichtmeilen. Äußerster Rahmen schließt den dichteren Teil der Welt der Kugelhaufen ein.

derer die Kugelhaufen, deren Gesamtheit gleichsam das feste Gerüst des großen galaktischen Systems bildet, nicht mehr in charakteristischer Dichte vorkommen.

(5) Zentralsystem. Die helle Plastik der Milchstraßenwolken in der Richtung zum Schützen macht es schon rein äußerlich wahrscheinlich, daß dort das Zentrum des galaktischen Systems zu suchen ist. Da dort auch der Schwerpunkt der Welt der Kugelhaufen liegt und da außerdem eine Rotation des ganzen Systems nachweisbar ist, deren Achse wieder eben durch diese Gegend hinter dem Schützen geht, so ist der Begriff Zentrum des großen galaktischen Systems dreifach zu werten. Es besteht ein Zentralsystem von Sternen oder sonstiger Sternmaterie, das auch die Sagittariuswolke, d. h. Sternwolke im Schützen, heißt. Sie weist zahlreiche Zepheiden auf. Ihre Mitte (17.30 - 30) liegt etwa 30 000 Lichtmeilen weit „im Schützen" (Bild 254). — Diese Ortsbenennung „im Schützen" und ähnliche müssen hier besonders definiert werden. Abgesehen davon, daß man statt „Schütze" besser „Fuß des Schlangenträgers" sagen könnte, sind die hellen, mit freiem Auge sichtbaren, für die Figur der Sternbilder charakteristischen Sterne im Verhältnis zu den Dimensionen von Tausenden von Lichtmeilen so nah, daß „Schütze" selbstredend nur eine Richtung, eine solche im Sinne einer „unendlich

größeren" Himmelskugel bedeutet, die jetzt auf viele Millionen Lichtmeilen Durchmesser erweitert gedacht werden soll. — An Größe übertrifft das Zentralsystem sicher das lokale, selbst in dessen weitester Fassung. Es ist wohl das beste, für jenes ebenfalls die Form eines Drehellipsoides anzunehmen. So wie man bei Doppelsternen aus der

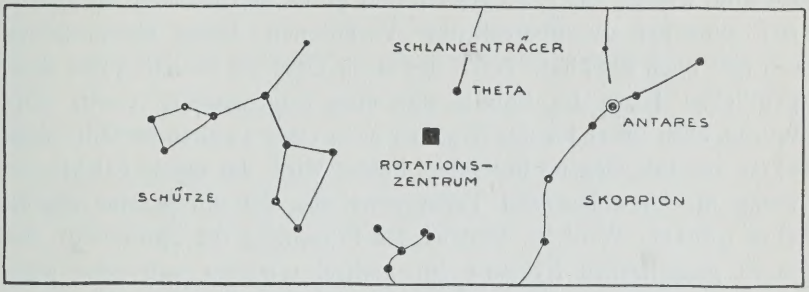


Bild 254. Rotationszentrum des großen galaktischen Systems zwischen Skorpion und Schütze

sozusagen zum Zusammenhalt des Systems nötig erscheinenden Kraft auf die Masse des Zentralkörpers schließen kann, so hat man auch im Falle des großen galaktischen Systems die Zentralmasse aus der später zu erwähnenden Rotation des Ganzen zu schätzen versucht. Man kann 10 bis 100 Milliarden Sterne, besser gesagt eine dieser Menge gleich große stellare Gesamtmasse annehmen. In welchem Zustand sich diese befinden mag, ist vorläufig nicht näher feststellbar. Es ist Gasmasse in verschiedenen Graden kosmischer Kondensation. Sterne sind ja schließlich auch nur Gasbälle.

(6) Struktur des galaktischen Systems. Die Anzahl der Sterne im großen galaktischen System kann auf mindestens 300 Milliarden veranschlagt werden, wenn wir einen „Stern" in erweitertem Sinn auffassen, z. B. auch Sternmaterie von der Masse je eines Sternes als Einheit zählen. Als Teile des großen Systems können Zentral- und Lokalsystem, ebenso vielleicht auch noch die auffällig glänzenden Sternwolken aufgefaßt werden. Die im Schild umfaßt eine Fläche von 6×8 Quadratgrad, innerhalb welcher die zwei hellen Sternhaufen M 11 und M 26 stehen. Eine Sternwolke im Schwan ist 15 Grad lang und halb so breit, die im Schiffskiel scheint aus vier einzelnen Systemen zu bestehen. Kaum auffällige Sternwolken finden sich auch im Kepheus, im Perseus und im Fuhrmann. Die

Flachheit des galaktischen Systems, die ausgesprochene Symmetrie in bezug auf die Milchstraßenebene und die im nächsten Kapitel näher zu erörternde Rotation um den Schwerpunkt des Ganzen lassen die Annahme zu, daß das ganze galaktische System möglicherweise eine Spirale ist, deren Äste aus Sternen und vor allem aus Einheiten aufgebaut sind, wie sie das Lokalsystem und große Sternwolken darstellen. Zwei zunächst gleichberechtigte Variationen dieses Gesamtbildes seien hier noch erwähnt. Nach der einen Deutung besteht außer dem eigentlichen Kern der Spirale nur eine nennenswerte zweite Anhäufung, eben unser lokales System; nach einer zweiten zerfällt, ohne daß die zentrale Gegend besonders betont wird, das ganze galaktische System in einige Dutzend Teilsysteme, die alle um je eine eigene Achse rotieren. Wird im Verlauf der Forschung die Spiralnatur des ganzen galaktischen Systems einwandfrei erwiesen sein oder wird ihm eine Spirale als früherer Entwicklungszustand des Systems zugebilligt, dann ist unser galaktisches System mit den Objekten in eine Kategorie zu stellen, die uns die Bildtafeln XXVI bis XXIX zeigen, nämlich mit den weißen Nebeln oder Spiralnebeln im weiteren Sinn.

(7) Rotation. Die an und für sich wahrscheinliche Rotation des galaktischen Systems ist auf spektroskopischem Wege zahlenmäßig nachgewiesen worden. — Von den neun mit Pfeilen versehenen Sternen im Bild 255 sei der mittlere die Sonne, die übrigen sollen be-

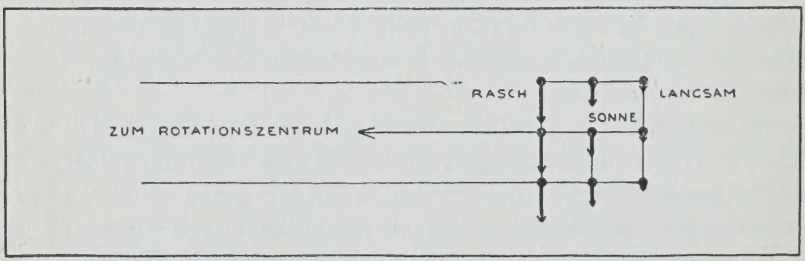


Bild 255. Rotation des galaktischen Systems. 1. Schema: Dem Rotationszentrum nähere Sterne bewegen sich rascher.

nachbarte Sterne in der Milchstraßenebene darstellen. Das Zentralsystem ist weit links zu denken und es müssen, wenn alles rotiert, nach dem auch in der großen Sternwelt gültigen Keplerschen Gesetz die zentrumnäheren Sterne rascher, die zentrumweiteren langsamer, die mittleren mit der Sonne gleich rasch laufen. Die verschiedene Länge

der Pfeile soll die Geschwindigkeiten relativ zu den fernsten Objekten weit außerhalb des galaktischen Systems bedeuten. Relativ zur Sonne sind nun, wie Bild 256 zeigt, die zwei mittleren Sterne in Ruhe, die

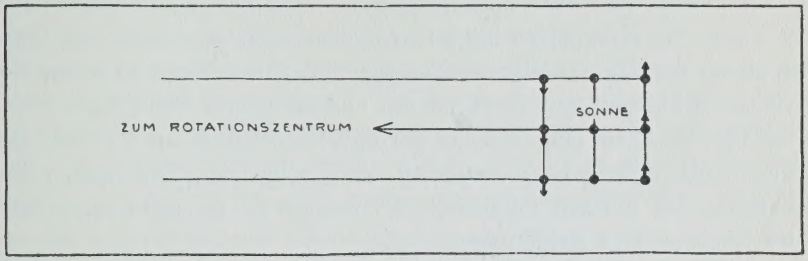


Bild 256. Rotation des galaktischen Systems. 2. Schema: Geschwindigkeiten relativ zur Sonne

Pfeile der anderen bedeuten die nach Abzug der Sonnenbewegung übriggebliebenen Geschwindigkeiten. In Bild 257 endlich sind statt der acht Sterne — die Sonne nicht mitgezählt — zunächst 24 in den

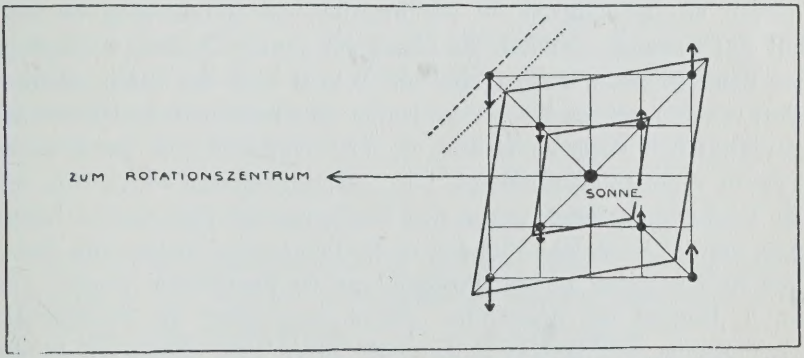


Bild 257. Rotation des galaktischen Systems. 3. Schema: Rhombische Verzerrung der Sternfelder, spektroskopisch bestimmbar

Ecken der 16 kleinen Quadrate zu denken. Von diesen sollen uns aber nur die acht besonders bezeichneten beschäftigen. Bei den sonnenweitesten dieser 8 Sterne ist die resultierende Geschwindigkeit relativ zur Sonne, wie aus der Zeichnung ersichtlich, am größten. Entfernen oder Annähern etwa innerhalb der gestrichelten und punktierten Geraden kann nach dem Dopplerschen Prinzip gemessen werden. Je deutlicher sich die quadratischen Rahmen in rhombische verwandeln — das Spektroskop bringt die quantitative Entscheidung — um so

größer ist der Geschwindigkeitsunterschied aller Sterne unserer stellaren Nachbarschaft, aus dem man dann die Rotationsdaten errechnen kann. Das ganze galaktische System läuft derart um die Mitte der Zentralwolke, daß unsere Sonnengegend eine Sekundengeschwindigkeit von 300 Kilometern besitzt, trotzdem wohl 200 Millionen Jahre zu einem Umlauf benötigt. — Die Kugelhaufen nehmen an dieser Bewegung wohl auch teil, doch nur mit viel geringerer Winkelgeschwindigkeit. Es kann sein, daß die geringe Abplattung des Systems der Kugelhaufen (Bild 249) — gering im Vergleich mit der starken Abplattung des übrigen galaktischen Systems — in der Langsamkeit der Rotation ihre Erklärung findet.

(8) Rasche Sterne. Die im Abschnitt „Sternbewegungen" beschriebenen Sternströme sind zum Teil eine Folgeerscheinung dieser „großen Rotation". Wir teilten dort die Sterne in normalbewegte und in rasche ein. Die Grenze besteht bei rund 60 Sekundenkilometern. Aus der Gesamtmasse des Zentralsystems und aus der Entfernung von demselben ergibt sich rechnerisch, daß Sterne von mehr als 360 Kilometern Geschwindigkeit — wir beziehen die Geschwindigkeit stets auf eine Sekunde — durch die Masse des ganzen Systems nicht mehr im Bann gehalten werden können. Würde z. B. der Stern „Sonne" statt mit 300 mit 400 Kilometern laufen, so würde er sich, statt in einer geschlossenen Bahn zu bleiben, in einer Hyperbel vom galaktischen System verabschieden müssen. Die „raschen" Sterne laufen nun, wie die Beobachtung zeigt, gegen den Punkt mit der galaktischen Länge 230 Grad, d. h. für das Bild 253 in die Papierebene hinein. Die Sonne kommt dem Leser gerade entgegen, aus der Papierebene heraus. Die im 8. Kapitel des Abschnitts „Sternbewegungen" als raschbewegt bezeichneten Sterne entweichen oder fallen zum mindesten in der Statistik durch ihre große Geschwindigkeit auf. Jedenfalls kann die dort erwähnte Grenzgeschwindigkeit von 63 Sekundenkilometern — relativ zum Ganzen der unmittelbaren Sonnennachbarschaft — aus der Rotation des großen galaktischen Systems abgeleitet werden. Die planetarischen Nebel zeigen denselben spektroskopischen Effekt wie die Sterne, sie verzerren, wenn wir im Hinblick auf Bild 257 so sagen dürfen, die quadratische Anordnung ebenfalls in eine rhombische.

(9) Ruhende Linien. Über die Sternverteilung im Raum zwischen lokalem und Zentralsystem wissen wir wenig. Wir können über die Sterndichte hier nichts aussagen. Wie diese auch sei, so ist

es sicher, daß dieser „interstellare", d. h. zwischen den Sternen liegende Raum nicht absolut leer ist. Atome, wenn auch nur eines in jedem Kubikzentimeter — gegen viele Trillionen etwa in einem Kubikzentimeter irdischer Luft — sind in jenem Raum bestimmt vorhanden. Bei auf uns zu oder von uns weg bewegten Sternen zeigt aber besonders die von ionisiertem Kalzium herrührende K-Linie — ebenso zum Teil auch die D-Linie — im Gegensatz zu den anderen Spektrallinien der bewegten Sterne keinerlei Dopplersche Verschiebung. Mit dem Auftreten tellurischer Spektrallinien hat diese Erscheinung nichts zu tun. Sie deutet auf interstellare Masse, besonders Kalziummasse hin, die sich um die verschiedenartigen speziellen Bewegungen der benachbarten Sterne nicht kümmert. Diese interstellare Masse ist relativ zum Lokalsystem in Ruhe, nimmt aber erwiesenermaßen an der Rotation des großen galaktischen Systems teil.

(10) Stellarer Maßstab. Der planetare Maßstab 1 : 1000 Millionen reicht nicht aus, die Dimension des galaktischen Systems in den Bereich der Vorstellbarkeit zu ziehen. Die im letzten Abschnitt unseres Buches besprochene Dimensionstafel für Längen empfiehlt als stellaren Verkleinerungsmaßstab das millionenfach kleinere Verhältnis 1 : 1000 Billionen. In diesem Maßstab, den wir den stellaren nennen, sind

1 Lichtmeile	=	10 Meter
100 Lichtmeilen	=	1 Kilometer
Plutobahndurchmesser	=	1 Zentimeter.

Das Modell des großen galaktischen Systems sieht im Sinne des Rahmenschemas in Bild 253 bei Anwendung des stellaren Maßstabes so aus:

Durchmesser des Ganzen	=	900 Kilometer
Dicke des Ganzen	=	200 Kilometer
Durchmesser des Zentralsystems	=	mehr als 200 Kilometer
Dicke des Zentralsystems	=	mehr als 40 Kilometer
Durchmesser des Lokalsystems	=	200 Kilometer
Dicke des Lokalsystems	=	40 Kilometer
Sonne bis „fernster Rand"	=	750 Kilometer
Sonne bis „nächster Rand"	=	150 Kilometer.

Daß diese Modellzahlen nicht weniger hypothetisch sind als die hier vorausgesetzten Theorien, soll hier, um alle Möglichkeit einer Mißdeutung auszuschließen, besonders betont sein.

ACHTER ABSCHNITT
SPIRALNEBEL

Weiße Nebel / Stellare Ordnungen / Kapwolken / Großer Andromedanebel / Nebelformen / Sechs Welten / Welt aller Nebel / Nebelstatistik / Nebelhaufen und Haufenkomplexe / Rhythmus im Großen / Unendliche Reihe / Nebelflucht

(1) Weiße Nebel. Unter dem allgemeinen Namen Spiralnebel fassen wir alle die Himmelsobjekte zusammen, die man wohl auch weiße Nebel nennt, zum Unterschied von den grünen. Während diese zum galaktischen System gehören, liegen die weißen Nebel weit außerhalb desselben. Sie bestehen im wesentlichen aus Sternen, wie das Lokalsystem oder das ganze große galaktische System, zum Teil aus sonstiger stellarer Materie. Ein großer Teil dieser weißen Nebel hat Spiralgestalt, andere haben elliptische Form, ohne daß sich infolge der großen Entfernung ihre Spiralstruktur optisch nachweisen läßt. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß sie eine solche besitzen oder Systeme darstellen, für deren Entwicklung die Spiralform wesentlich ist. Wir zählen deshalb auch alle diese elliptischen, ausnahmsweise sogar kugelähnlichen, zu den „Spiralnebeln im weiteren Sinn". — Als mit den Spiralnebeln verwandt können jene unregelmäßigen stellaren Nebel gelten, die wie die beiden Kapwolken oder Magellanschen Wolken gelegentlich auch schon als Teile des galaktischen Systems aufgefaßt wurden. Systeme aller dieser Arten können sich zu Nebelhaufen vereinigen und diese wieder zu noch größeren Komplexen, die dann in ihrer Gesamtheit das uns gegenwärtig optisch direkt oder auf Umwegen überhaupt zugängliche Universum darstellen.

(2) Stellare Ordnungen. Es sei erlaubt, von sechs einander übergeordneten Kategorien von Sternsystemen zu sprechen, die wir als Ordnungen stellarer Systeme bezeichnen wollen. — Die hier folgende Tabelle gibt Nummer der Ordnung, Namen und je ein Beispiel für jede Ordnung eines Sternsystems. Für die einzelnen Ordnungen gibt es verschiedene Namen, von denen einige — unter

Ordnung	System	Beispiel
1. Ordnung	Stern	Wega
2. Ordnung	Sternhaufen	Herkuleshaufen M 13
3. Ordnung	Spiralnebel	Andromedanebel
4. Ordnung	Nebelhaufen	Dreigradhaufen in der Berenike
5. Ordnung	Nebelhaufenkomplex	Komplex in der Fünfsternreihe
6. Ordnung	Welt aller Nebel	Universum

Weglassung sprachlich unzulässiger Varianten — angegeben sein mögen. Die Spiralnebel im weiteren Sinne oder weißen Nebel heißen mit Recht auch Milchstraßen, dann nichtgalaktische, extragalaktische oder anagalaktische Nebel, die Nebelhaufen auch Nebelnester, supergalaktische oder metagalaktische Haufen. Ganze Komplexe von solchen führen die Namen Wolken von Nebelhaufen, metagalaktische Überhaufen. Das uns bekannte Universum wurde auch metagalaktisches System oder Charliersche Welt genannt, mitunter auch Überwelt.

(3) Kapwolken. Die große Kapwolke im Schwertfisch, zum Teil im Tafelberg, fürs freie Auge 7 Grad querdurch, liegt 20 Grad vom Gegenpol entfernt auf der Linie, die durch Orion, Hase und Taube geht. Die kleine Kapwolke, ebenfalls mit freiem Auge sichtbar, im Durchmesser knapp 4 Grad, ist im Sternbild des Tukans und bildet mit der großen Kapwolke und dem Südpol ein ungefähr gleichseitiges Dreieck und liegt nicht weit von der durch den Walfisch hindurch verlängerten Kolurlinie. Die beiden Sternwelten konnten ausgiebig erforscht werden, besonders da sie unter ihren fast 2000 beobachteten Veränderlichen viele recht „brauchbare" Zepheiden enthalten. Entfernungen, Durchmesser und Normalabstände von der Ebene des galaktischen Äquators gibt die Tabelle hier:

Kapwolke	große	kleine
Entfernung	80 000 Lichtmeilen	90 000 Lichtmeilen
Durchmesser	14 000 Lichtmeilen	6000 Lichtmeilen
Abstand von der galaktischen Ebene	60 000 Lichtmeilen	60 000 Lichtmeilen

In der kleinen Kapwolke sind einige hundert Überriesen (absolute Größe „-7") gezählt worden und die Sternanzahl überhaupt innerhalb dieses Systems geht über 100 Millionen hinaus. Hier sind kurz- und langperiodische Zepheiden gemischt vorhanden. Es ist dies die schon erwähnte wichtige Tatsache, die die Brücke zwischen beiderlei Zepheiden als unerläßliche Voraussetzung dafür herstellt, daß man die trigonometrisch oder sonst unzugänglichen kurzperiodischen Zepheiden in gleicher Weise wie die typischen Zepheiden zur Raumlotung verwenden konnte. Der den Kapwolken äußerlich verwandte Nebel NGC 6822 ist in die später folgende Liste der „Sechs Welten" aufgenommen worden.

(4) Großer Andromedanebel. Dieser typische Spiralnebel (Bildtafel XXVI), auch mit freiem Auge erkennbar, ist der uns nächste. Bild 258 zeigt seine Lage relativ zu den drei hellen Andro-

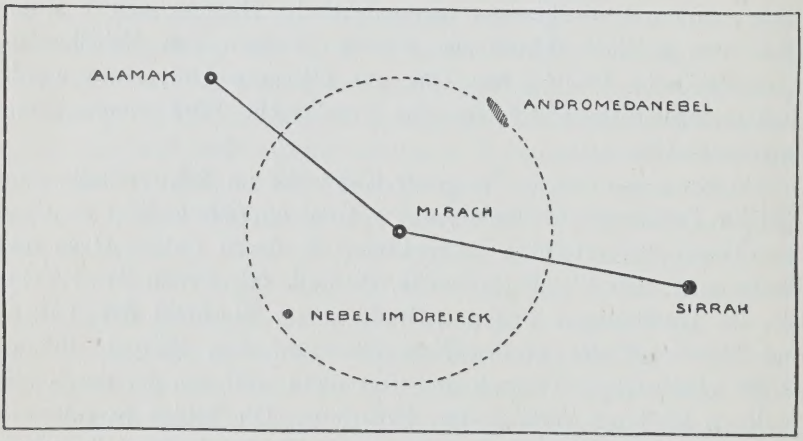


Bild 258. Kreis zum Aufsuchen des Andromeda- und des Dreiecknebels

medasternen an. Ein durch ihn um Mirach gelegter Kreis führt zu einem zweiten typischen Spiralnebel M 33 im Dreieck. Die Andromedaspirale wird gern als echte Schwester unserer eigenen Milchstraße bezeichnet. Die Frage nach dem Grad der Verwandtschaft wird erst dann geklärt werden können, wenn man sich über die geometrische Struktur des großen galaktischen Systems im reinen sein wird. In anderer Beziehung geht die Analogie recht weit. Der Andromedanebel besteht aus Sternen wie unsere Milchstraße und die Sternhaufen. Er hat

Veränderliche, besonders Zepheiden, Riesen und Überriesen und Neue Sterne, eine zentrale Masse, des weiteren auch Kugelhaufen, nach Art und Verteilung den „unseren" ähnlich. Die Entfernung des Systems beträgt 850 000 Lichtmeilen, das sind rund 900 000 gewöhnliche Lichtjahre, so daß man mit einiger Toleranz mitunter sagt, daß sich das, was wir im Nebel heute sehen, vor nahezu einer Million von Jahren ereignet hat. Die Tabelle hier zeigt, daß man sich eifrig und mit Erfolg um unsere Nachbarwelt gekümmert hat. Freilich sind manche Angaben noch recht hypothetisch, aber sie geben wenigstens die Größenordnungen an, in denen sich die charakteristischen Zahlen der Spiralnebel bewegen.

Andromedanebel

Entfernung	= 850 000 Lichtmeilen
Durchmesser	= 40 000 Lichtmeilen
Größte Dicke	= 5 000 Lichtmeilen
Inhalt	= 2 Billionen Kubiklichtmeilen
Gesamtmasse	= 3 500 Millionen Sonnen
Masse je Kubikzentimeter	= 0,000 5 trilliontel Gramm
Leuchtkraft	= 660 Millionen Sonnen
	= 2 Sextillionen Kerzen
Anzahl der Sterne	= viele Milliarden
Rotationsdauer	= 19 Millionen Jahre
Vermutliche Lebensdauer	= 100 Billionen Jahre
Längsachse am Himmel	= 160 Bogenminuten
Querachse am Himmel	= 40 Bogenminuten
Längsachse des Kerns	= 30 Bogenminuten
Querachse des Kerns	= 15 Bogenminuten

Für die letzten Zahlen kann das Schema Bild 259 als Unterlage dienen. Die Verfahren, nach denen die Zahlen berechnet wurden, sind schon bei früheren Gelegenheiten angegeben worden. Zepheidenmethode und Analogieschluß spielen eine große Rolle. Rotationen an Spiralnebeln werden spektroskopisch aus Radialeffekten bestimmt oder dadurch, daß man Photographien ein und desselben Objektes, die vor Jahren und heute aufgenommen wurden, miteinander vergleicht. Über die Lebensdauer astronomischer Objekte haben wir im nächsten Abschnitt einiges zu erzählen.

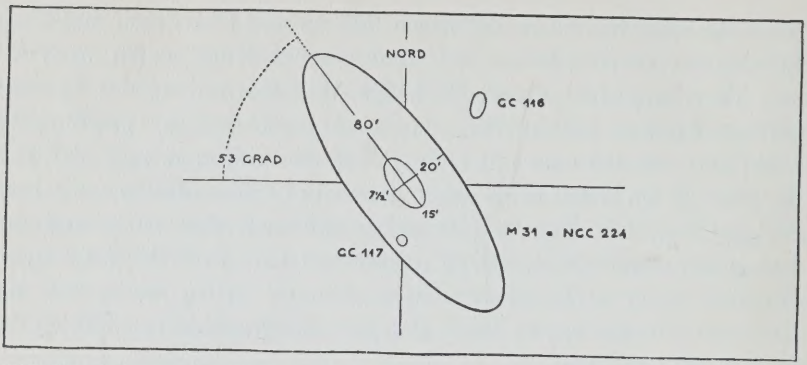


Bild 259. Schema des Andromedanebels. Zu vergleichen mit Bildtafel XXVI

(5) Nebelformen. Die weißen Nebel zeigen in ihrer Form alle Übergänge von der Kugel bis zur vollendeten und dann übervollendeten, zerzausten, schließlich aufgelösten, und kaum als solche erkennbaren Spirale. In den Bildtafeln XXVI bis XXIX sind typische Figuren zusammengestellt. In Wirklichkeit ist der Rotationsäquator kreisförmig, und je nachdem, ob die Rotationsachse auf uns zeigt oder mit unserer Blickrichtung einen kleineren oder größeren Winkel einschließt, sehen wir die Nebelumrisse als Kreise oder als Ellipsen oder schließlich mehr oder weniger „von der Kante". Den Nebel M 101 im Großen Bären (Bildtafel XXVII) sehen wir in Draufsicht, den Nebel NGC 891 (Bildtafel XXIX) von der Kante. Die in Bildtafel XXVIII wiedergegebenen Formen werden kosmogonisch so gedeutet, daß man die Kugelform als die zeitlich erste ansieht. Durch Rotation entstehen Schleuderkräfte, die Kugel wird zum Rotationsellipsoid. Dieses wird immer flacher, nimmt Linsengestalt an, an deren Kante, die dem „kalten" Weltraum ausgesetzt ist (man gibt, trotzdem eine „Weltraumtemperatur" durchaus nicht eindeutig zu formulieren ist, für den kosmischen Raum den absoluten Nullpunkt als dessen Temperatur an), die Materie sich abkühlt, kondensiert und vielleicht „in Staub" zerfällt. Der hiedurch entstehende dunkle Streifen bei manchen Nebeln (letzte Figur in Bild XXVIII) mag ähnlichen Charakters sein wie das Medium, das in unserem galaktischen System die Teilungen längs des hellen Milchstraßenbandes erzeugt. — Aus ursprünglich einheitlicher Materie bilden sich Sterne, die in den Nebeln, nachdem ihre Existenz aus dem Spektralbefund untrüglich festgestellt werden konnte, besonders in den äußeren Teilen der

Spiralen direkt photographiert werden konnten. Daß die beiden Arme einer typischen Spirale an zwei einander diametral gegenüberliegenden Stellen ansetzen, kann aus der gegenseitigen Gezeitenwirkung zweier Nebel abgeleitet werden. — Die Masse eines Nebels durchschnittlicher Größe mag das Zweimilliardenfache der Sonnenmasse betragen. Dabei ist die Materie so dünn, daß ein Molekül, das in gewöhnlicher Luft infolge der Zusammenstöße mit anderen seinesgleichen durchschnittlich nur ein Zehntausendstel eines Millimeters weiterkommt, dann einen Zusammenstoß erleben und so im Zickzack „weiterkriechen" muß, im Nebel in der Regel etwa eine Million Kilometer reisen kann, ohne ein zweites Molekül zu treffen.

(6) Sechs Welten. Sechs „benachbarte", ausgiebig erforschte Sternsysteme dritter Ordnung sollen durch zwei Tabellen charak-

Nr.	Sternsysteme dritter Ordnung	Entfernung	
		in Wirklichkeit in Lichtmeilen	im stellaren Maßstab 1 : 1000 Billionen in Kilometern
1	Andromedanebel M 31	850 000	(8500)
2	Nebel im Dreieck M 33	810 000	(8100)
3	Nebel NGC 6822	660 000	(6600)
4	Große Kapwolke	80 000	(800)
5	Kleine Kapwolke	90 000	(900)
6	Galaktisches System	30 000	(300)

Nr.	Größter Winkeldurchmesser	Durchmesser	
		in Wirklichkeit in Lichtmeilen	im stellaren Maßstab in Kilometern
1	3 Grad	40 000	(400)
2	1 „	14 000	(140)
3	1/3 „	4 000	(40)
4	7 „	14 000	(140)
5	4 „	6 000	(60)
6	—	90 000	(900)

terisiert werden und damit zugleich einen Einblick in die Natur der weißen Nebel überhaupt gewähren. —

Zum Nebel NGC 6822 bemerken wir, daß er im Schützen liegt, nahe an der oberen Grenze dieses Sternbildes, 22 Grad südlich von Atair und 10 Grad westlich vom Doppelstern Algiedi im Steinbock. Daß für das galaktische System die „Entfernung" 30 000 Lichtmeilen angegeben wurde, soll bedeuten, daß die sonnenzentrische Distanz des galaktischen Zentrums ebensoviel ausmacht. Der Unterschied der Zahlenwerte einzelner Spalten ist kein derartiger, daß die Eingliederung in eine und dieselbe Ordnung der Sternsysteme unerlaubt erscheinen müßte. Die immerhin auffallende Größe unseres galaktischen Systems ist die Veranlassung dafür gewesen, daß man dieses als ein System vierter Ordnung ansehen wollte. Dann wäre das lokale System den fünf ersten Welten in der Tabelle gleichgeordnet und das ganze galaktische System gleichsam ein Nebelhaufen.

(7) Welt aller Nebel. Aus der Statistik der Spiralnebel im weiteren Sinn läßt sich ein absorbierendes Mittel der bereits öfter erwähnten Art erschließen. Die merkwürdige auf Grund einer umfassenden Nebelstatistik aufgebaute Figur in Bild 260 ist folgender-

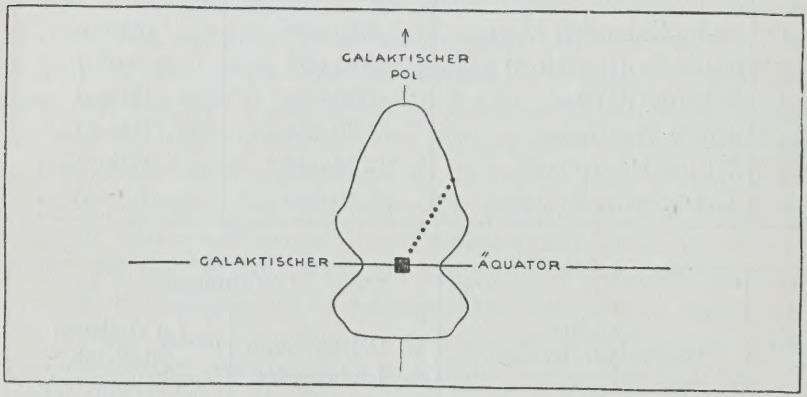


Bild 260. Charliersches Schema der Spiralnebelwelt

maßen entstanden: Die waagrechte Linie bedeutet die galaktische Ebene, die darauf senkrechte die Richtung zum Pol der Milchstraße im Sternbild der Berenike. Die Himmelskugel ist hier unendlich größer zu denken, als die ganze optisch direkt oder indirekt faßbare Welt. Im Schnittpunkt des Achsenkreuzes ist unser Auge, unser

Sonnensystem oder am besten unser großes galaktisches System zu denken. Jedenfalls ist dessen größter Durchmesser waagrecht in der Zeichnung einzustellen. Die Länge eines jeden Leitstrahles „Auge-Figurenumfang" bedeutet die relative Anzahl der in der entsprechenden galaktischen Breite gezählten Spiralnebel. Im übrigen ist die Figur in bezug auf die mittlere Vertikale grundsätzlich symmetrisch gezeichnet. Die Punkte im willkürlich ausgewählten Leitstrahl für die galaktische Breite 60 Grad sollen je einen Spiralnebel bedeuten, wobei die Punktanzahl als solche hier im schematischen Bild gegenstandslos ist. Es gibt, den längeren Vektoren entsprechend, mehr Spiralnebel in der Richtung zur Berenike, als in der Richtung senkrecht dazu. Die ganz unnatürlich anmutende Einschnürung links und rechts muß weggedacht werden. Sie wird vom absorbierenden Mittel in der galaktischen Ebene bloß vorgetäuscht. Die „Welt aller Nebel" hat also im Schema etwa die Form eines großen Welteneies, weniger „poetisch": eines ungefähren Drehellipsoides. Eine physische Rotation soll dieser Name allerdings nicht beinhalten, denn wir wüßten mit dem besten Willen nicht, auf was „außerhalb" wir diese Drehung beziehen sollten.

(8) Nebelstatistik. Für das größte Fernrohr der Welt, den 100-Zöller auf dem Mount Wilson, könnten schätzungsweise 2 Millionen Nebel, für den im Bau befindlichen 200-Zöller achtmal soviel „erreichbar" sein, in dem Falle, daß man die Instrumente auf alle, auch auf die Punkte des südlichen Himmels richten könnte. Der weiteste optisch tatsächlich erreichte Nebel, im Sternbilde der Zwillinge, ist über 130 Millionen Lichtmeilen weit, das sind etwa 140 Millionen Lichtjahre. — Die durchschnittliche Größe der Nebel dürfte 10 000 Lichtmeilen nicht überschreiten, wobei zwischen einem und dem nächsten Nebel ein Zwischenraum von durchschnittlich 2 Millionen Lichtmeilen liegt, so daß der Zwischenraum etwa 200mal größer ist als die Größe der Objekte selbst. „Nach je zwanzig Metern Leere ein handgroßes Etwas" gibt die Verteilungsdichte der Welt aller Nebel wieder, und zwar im „überstellaren Maßstab". Er verkleinert tausend trillionenmal. Wir werden über ihn im letzten Abschnitt vom Standpunkt einer umfassenderen Idee berichten. — Daß die Nebelstatistik auf sehr sicherer Grundlage steht, zeigt ein nachweisbar enger Zusammenhang zwischen scheinbarer Totalhelligkeit der Nebel, in Sterngrößen ausgedrückt, und der Anzahl der zu den einzelnen

Größenklassen gehörigen Nebel. Die diesen Zusammenhang kennzeichnende Schaulinie in Bild 261 ist nur wenig schematisiert. — Aus dem Verlauf der Schaulinie konnte auch ein Schluß auf die absolute

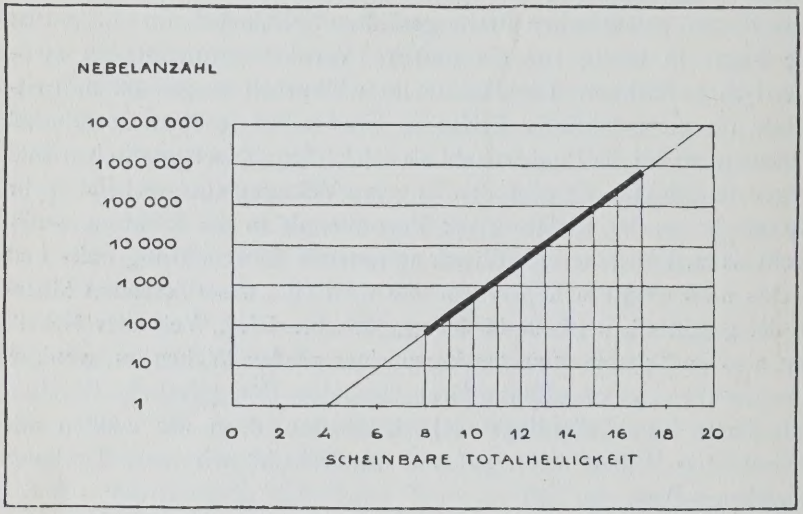
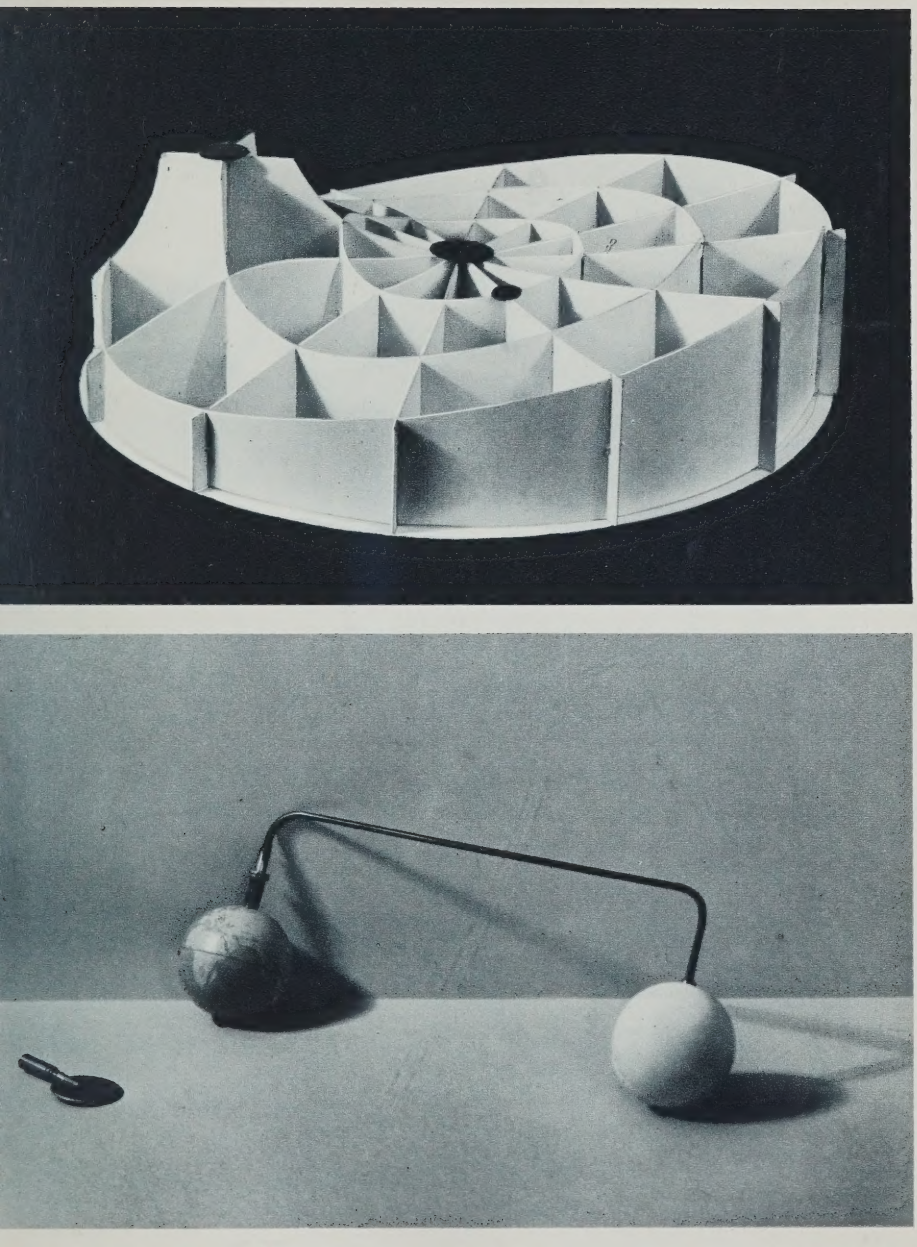


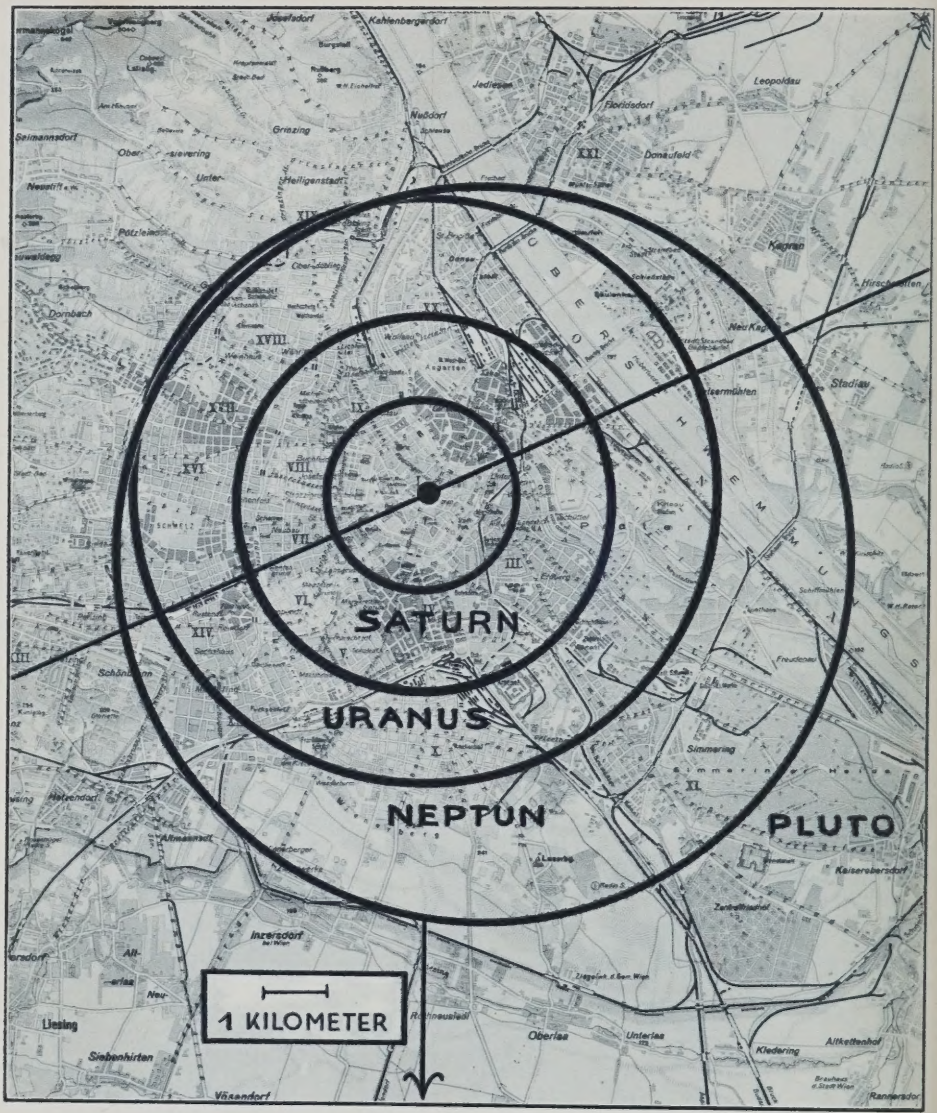
Bild 261. Zusammenhang zwischen scheinbarer Totalhelligkeit und Nebelanzahl

Durchsichtigkeit des Weltraumes gezogen werden, beziehungsweise äußerste Grenzen für die schließlich doch vorhandene minimale Absorption des Lichts festgelegt werden. So kommt für eine Million von Lichtmeilen, also eine Entfernung bis jenseits des Andromedanebels, höchstens ein Fehler von zwei Tausendstel Größenklassen, für die weitesten teleskopischen Nebel auch nur ein solcher von einigen Zehnteln einer Größenklasse in Betracht, so daß die Durchsichtigkeit des kosmischen Raumes und damit letzten Endes die Richtigkeit unseres Bildes vom Bau der optisch erreichbaren Welt in hohem Grade als gesichert angesehen werden kann.

(9) Nebelhaufen und Haufenkomplexe. Ein Beispiel für Anhäufungen von Nebeln liefert das nördlich vom Spitzbogen im Sternbild der Jungfrau gelegene Feld, das in Bild 262 sehr schematisch begrenzt erscheint. Innerhalb des zwischen 5 und 20 Grad Deklination und 12 Stunden bis 12 Stunden 40 Minuten Rektaszension eingeschlossenen Rahmens sind über 2700 Nebel photographiert worden, innerhalb dieser bilden u. a. zahlreiche lichtschwache einen 3 Grad



Oben: Modell der Störungsfunktion
Unten: Modell zum Thema: Relativität der Drehung



Planetenbahnen im planetaren Maßstab 1 : 1 Milliarde
1 Kilometer im Stadtgebiet = 1 Milliarde Kilometer im Planetensystem

TAFEL XXXI

breiten Nebelhaufen und ein zweiter, querdurch 1 Grad groß, vereint noch schwächere Objekte. Unter der Annahme etwa gleicher absoluter Nebeldurchmesser konnte man aus dem Vergleich der gemessenen Bogensekunden oder scheinbaren Helligkeiten die relative Entfernung

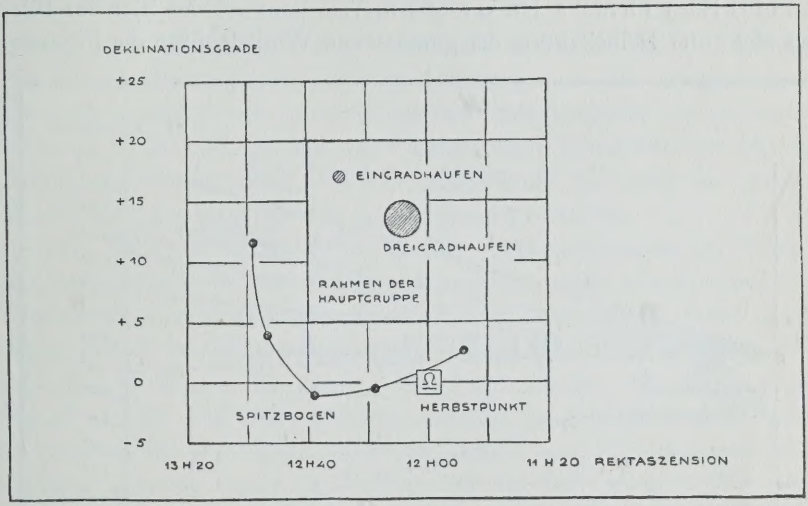


Bild 262. Drei Nebelhaufen über dem Spitzbogen im Sternbild der Jungfrau. Rohes Schema

der Einzelnebel und damit die der ganzen Haufen ableiten. Der Zusammenhang zwischen Winkeldurchmesser und totaler scheinbarer Helligkeit bietet schließlich dann eine Handhabe zur Ermittlung der

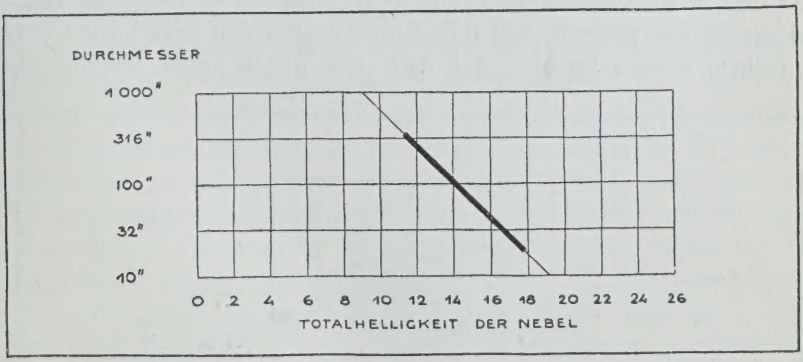


Bild 263. Zusammenhang zwischen Totalhelligkeit der Nebel und deren Durchmesser

Entfernungen, wenn das Bestimmen der Winkeldurchmesser auf Schwierigkeiten stößt. In Bild 263 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Sowohl die Totalhelligkeiten als auch die Durchmesser sind in multiplikativer Zählung angeordnet.

(10) Rhythmus im Großen. Werden nach der Idee des Bildes 264 unter Beibehaltung der gemessenen Winkelgrößen die Figuren

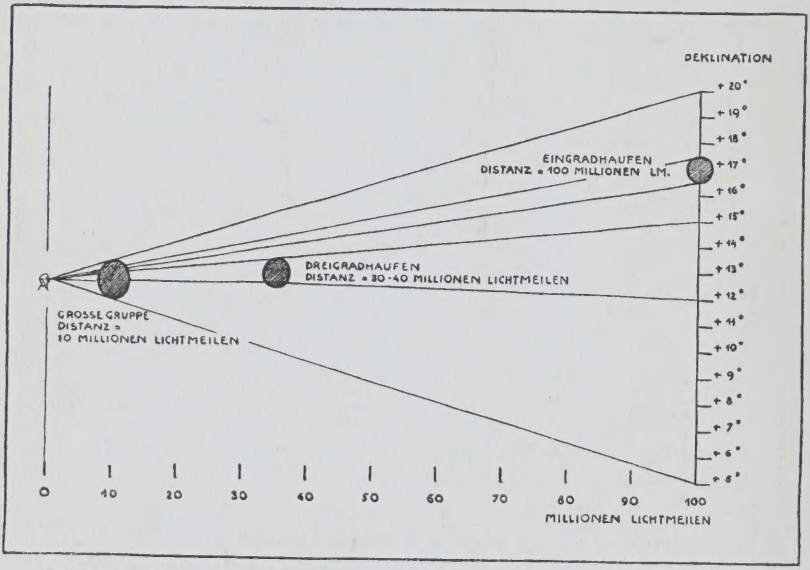


Bild 264. Räumliche Anordnung der drei Nebelhaufen aus Bild 262

der drei in Bild 262 eingezeichneten Nebelhaufen so weit vom Auge weggeschoben gedacht, daß ihre Entfernungen den berechneten entsprechen, dann zeigt sich, daß drei etwa gleich große Nebelhaufen

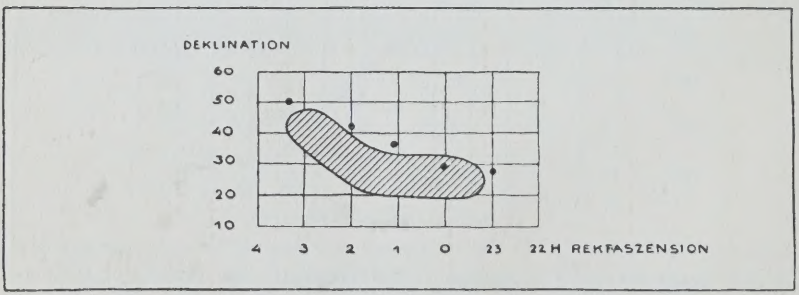


Bild 265. Nebelhaufenkomplex südlich der Fünfsternreihe

existieren, die in etwa gleichem räumlichem Tempo aufeinander folgen. Der Rhythmus in Größe und Zwischenraum ist gewiß als solcher auch wieder ein Wahrscheinlichkeitsbeweis für die Richtigkeit der Schätzungen. Die drei Haufen und noch andere, die im Schema des vorigen Kapitels beiseite gelassen wurden, bilden nördlich vom Spitzbogen in der Jungfrau einen ganzen Haufenkomplex, also ein System der nächst höheren, der fünften Ordnung. — Ein ausgedehnter Haufenkomplex ist u. a. auch südlich der Fünfsternreihe nachgewiesen worden. In Bild 265 ist der bisher untersuchte Teil dieses Systems in Schraffen hervorgehoben. Es ist anzunehmen, daß sich der ganze Haufenkomplex noch über Pegasus hinaus dahinzieht.

(11) Unendliche Reihe. Die sechs Ordnungen der Sternsysteme können wir als eine Reihe ansehen, deren erstes Glied ein Einzelstern und deren letztes die Welt aller Nebel bildet. Jedes Glied dieser immer gewaltiger wachsenden Reihe ist nur ein Baustein für das nächst höhere. In unserer Phantasie könnte die „Welt aller Nebel" wieder Teil eines größeren kosmischen Bestandes sein. Und so könnten wir von Welten siebenter, achter usw. Ordnung sprechen — oder träumen. Es ist denkbar, daß die Welt unserem Träumen entspricht, doch müssen wir hier bei dem physisch-optisch Nachweisbaren bleiben. Zunächst hatte sich die Theorie, eigentlich noch bevor man etwas über die Dimensionen der „Welt aller Nebel" wußte, mit der konkreten Frage befaßt, ob nach den Regeln der Mechanik eine Welten- und Massenerstreckung bis ins wirklich Endlose erlaubt sei. Wenn z. B. unzählbar viele Nebelwelten da wären, jede immerhin durchschnittlich über 1000 Sextillionen Kilogramm schwer, dann wäre es denkbar, daß deren enorme Gravitationswirkung alle Bewegungsgesetze, die Kreisbahnen, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln vorschreiben, unmöglich machen würde und so ein Chaos herrschen müßte. Es ist nachgewiesen worden, daß diese Befürchtung in dem einen Falle nicht zurecht besteht, wenn stets eine Welt soundsovielter Ordnung einer bestimmten Bedingung entspricht, daß nämlich jede Welt höherer Ordnung in einem ganz bestimmten Verhältnis im Durchmesser größer ist als die vorhergehende, nächstkleinere Welt. „Diese Verhältniszahl, mit sich selbst multipliziert, muß gleich sein der Anzahl der Objekte, die das System der nächstkleineren Ordnung besitzt", lautet das einfache Endergebnis einer streng mathematischen Untersuchung. Das System sechster Ordnung, also die Welt wirklich

aller Nebel, nicht nur die der gegenwärtig erfaßten, müßte nach dieser Charlierschen Theorie rund eine Milliarde Lichtmeilen groß sein. Messungsergebnisse lauten heute auf 130 Millionen Lichtmeilen für einen einzelnen Leitstrahl dieser neuen Welt. Die Beobachtungskunst dringt immer weiter vor. Wir scheinen uns also den Grenzen der theoretischen „Charlierschen Welt" zu nähern.

(12) Nebelflucht. So wie ein Sternhaufen innere Bewegung besitzt, so bewegen sich auch in der „Welt aller Nebel" die Glieder derselben relativ zueinander. In Anbetracht der großen Entfernungen können freilich Ortsveränderungen senkrecht zur Blickrichtung nicht festgestellt werden. Es sind nur radiale Effekte meßbar. — Dabei ist eine besondere Erscheinung überaus auffällig, die gegenwärtig nicht erklärt werden kann: Die Nebel eilen alle systematisch von uns weg. Man bezeichnet dies allgemein als „Nebelflucht". — Die beobachteten Tatsachen sind folgende: die kräftigeren Linien H und K im Spektrum der Spiralnebel bewegen sich sozusagen ausnahmslos — die ganz wenigen Abweichungen können als solche erklärt werden — gegen das Rot des Spektrums. Diesen Verschiebungen, als Dopplereffekte gedeutet, entsprechen Geschwindigkeiten von uns weg bis zum Betrag von vielen Tausenden von Kilometern je Sekunde. Schematisiert zeigt die bloße Beobachtung den in Bild 266 dargestellten Zusammenhang: Dreißig Millionen Lichtmeilen entfernte Nebel eilen mit rund 5000 Sekundenkilometern dahin. Doppelt so weit entfernte haben die doppelte, dreimal so weit entfernte die dreifache Geschwindigkeit usw. — Die Welt um uns dehnt sich mächtig aus. — Das Universum muß einmal relativ klein gewesen sein und nun strebt es auseinander. Daß die raschen Nebel weit sind, die langsamen nah, könnte man so erklären, daß zunächst in einem Anfangsstadium alle Geschwindigkeiten der Nebel gleichmäßig verteilt waren. Dann sind im Verlauf des kosmischen Geschehens die Nebel, deren jeder über eine bestimmte Geschwindigkeit verfügte, umso weiter weg gewandert, je größer diese Geschwindigkeit war. Infolgedessen eilen auch jetzt die entfernten Nebel rasch, die näheren, trägeren relativ langsamer von uns weg. Eines aber bleibt, ganz abgesehen von der Ungeheuerlichkeit der Kilometerbeträge, ein Rätsel. Die Bewegungen zeigen ein ausgesprochenes System. Die Nebel fliehen vor uns, vor unserer kleinen Erde oder unserer Milchstraße, die schließlich nur eine von soundso vielen Millionen ist. Das

würde doch sagen, daß u n s e r e Milchstraße dem Weltganzen wichtiger sei, als die übrigen soundso viel Millionen Spiralnebel. Das wäre eine Behauptung, die dem Gesetz der allgemeinen Relativität aller Bewegung widerspräche. Denn dann gäbe es tatsächlich ein Fundament, eben u n s e r e Milchstraße, auf die alle Bewegungen zu beziehen

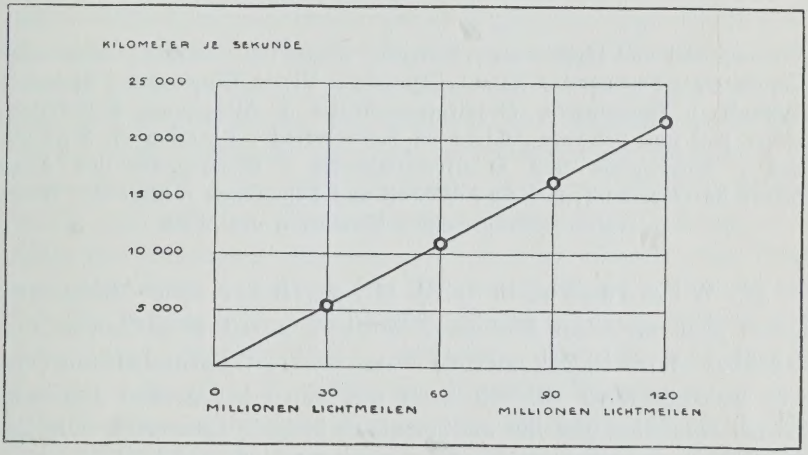


Bild 266. Nebelflucht: Die Geschwindigkeit der Nebel ist umso größer, je weiter sie von uns entfernt sind.

wären. Eine absolute Bewegung wäre da und die ganze Physik mit ihrer seit 2000 Jahren, wenn auch nicht immer betonten aber tatsächlich gültigen Definition der Bewegung als etwas Relativem, wäre hinfällig. Aus dieser Verlegenheit suchen Betrachtungen herauszuhelfen, deren Ideen auf der sogenannten allgemeinen Relativitätstheorie beruhen, die uns im nächsten Abschnitt noch beschäftigen soll.

NEUNTER ABSCHNITT
ALLGEMEINE PROBLEME

Wissenschaft und Hypothese / Materie / Masse und Energie / Allgemeine Geometrie / Sogenannte Raumkrümmung / Vierte Dimension / Stehende Zukunft / Einsteinsche Gravitationstheorie / Allgemeine Relativität / Freier Fall und Schwere / Licht im Schwerefeld / Rotation im Schwerefeld / Astronomie und Relativitätstheorie / Kosmogonie des Alls / Jeanssche Gezeitenhypothese / Weltall und Lebewesen / Alter der Welt / Weltuntergangsfrage / Expansion der Welt

(1) Wissenschaft und Hypothese. Die Mathematik befaßt sich mit allem denkbar Möglichen, soweit es in Zahlen ausdrückbar ist, die Physik oder die übrige exakte Wissenschaft mit dem, was wahrscheinlich ist. Ich kann mir einen hausgroßen Diamantkristall vorstellen und ihn mathematisch beliebig behandeln. Die Behandlung konstruiert sich selbst einen Sinn. Aufgabe der exakten Naturwissenschaft aber ist es, die physische Möglichkeit und gegebenenfalls den Grad dieser Möglichkeit etwa auf Grund bisheriger Erfahrung zu prüfen. In diesem Sinne ist die Mathematik, gern als raffinierteste Wissenschaft verschrien, zugleich die „naivste". Sie kümmert sich ganz und gar nicht um die physikalischen Grenzen des gedacht Möglichen. Ihrer Phantasie steht alles offen und aus solchen Phantasiebildern entspringen zunächst die Grundlagen für Hypothesen im weiteren Sinn. Soundso viel Prozent dieser Phantasiebilder sind naturgemäß praktisch unbrauchbar. Der Rest kann unsere Arbeit fördern, Ideen bilden, die uns leiten. — Eine gute Arbeitshypothese braucht übrigens absolut nicht richtig zu sein. Sie kann auch als falsche Annahme die Wissenschaft fördern. Wenn die Anziehungskraft als Wirkung und Potenz unsichtbarer und absolut durchdringender Muskeln oder Gummibänder definiert oder vorgestellt wird, so kann trotzdem auf Grund dieser falschen kindlichen Gravitationshypothese das Eintreffen einer Sonnenfinsternis für anno 2999 angegeben werden. — Hypothesen sind nur Bilder, haben aber als solche in der Wissenschaft wohlbegründete Berech-

tigung. Der exakte Wissenschafter darf und muß mit ihnen ebenso experimentieren, wie mit Apparaten. Eine vornehme Pflicht der Hypothesen besteht allerdings darin, sofort zu verschwinden, wenn sich Widersprüche ergeben, die aus ihrer Anwendung erwachsen.

(2) Materie. Eine jener Hypothesen hat sich zu derart universaler und unerläßlicher Anwendung emporgeschwungen, daß es durchaus unwahrscheinlich erscheint, daß sie je ganz verdrängt werden sollte. Es ist die Ansicht vom Bau der Materie aus winzigen Planetensystemen, die wir Atome nennen, die noch lockerer sind als unser Sonnensystem. Man müßte und könnte die Bausteine der tausend Quadrillionen Atome eines Menschen zu einem mikroskopischen Staubkorn zusammenpressen, wenn man nur dessen „wirkliche" Materie nehmen wollte und auf alle von elektrischen Kräften und Spannungen erfüllte Zwischenräume verzichtete. — Ich, jeder Mensch, jeder Planet und jeder Stern sind elektrische „Mückenschwärme" und es ist kein Wunder, daß deren Form und Größe sich trotz aller hartnäckigster Tendenz inneren Zusammenhaltens verändert. — Wir haben in unserem Buch nur die reine Himmelskunde behandelt. Es soll aber gestattet sein, in diesem allgemeinen Abschnitt aus dem schier endlosen Bereich ihrer Hilfswissenschaften wie z. B. der Physik und der Relativitätstheorie, die wieder ein Teil der Physik ist, in kleiner Auswahl diejenigen Probleme zu skizzieren, die gerade in ihrer astronomischen Auswirkung interessante Seiten zeigen können.

(3) Masse und Energie. Man kommt, wie wir schon früher zeigten, mit dem besten Willen nicht um die Vorstellung herum, daß der große Mückenschwarm, den wir Sonne nennen und dessen Gesamtstrahlung einem Arbeitsinhalt von 30 000 mal Trillionen mal Trillionen Kilogrammetern entspricht, bei der fortwährenden Strahlung schließlich nicht nur an Energieinhalt, sondern auch an Masse abnehmen muß. — Die Physik hat ganz klare Zusammenhänge zwischen Masse und Energie aufgezeigt und sich auch für jeden Mückenschwarm irdischer wie kosmischer Herkunft den Übergang von dessen Masse in Energie klar zurechtgelegt. Wenn die positiven und negativen Urbestandteile der Materie sich vereinen, so lautet eine moderne und vielgenannte Hypothese, dann entsteht Strahlung; die Materie als solche wird vernichtet. Materie und Strahlung sind also hiernach nur zwei verschiedene Formen der Energie. Vielleicht, aber durchaus nicht sicher, ist die kosmische Ultrastrahlung, die auch die

durchdringende oder Höhenstrahlung genannt wird, eine Begleiterscheinung derartiger „Annihilation" der Materie. — Wie jeder Stern, strahlt auch die Sonne Masse aus, in jeder Sekunde vier Millionen Tonnen. Sie wird dadurch immer leichter, kann schließlich unsere Erde nicht mehr so kräftig anziehen wie jetzt z. B. und infolgedessen entfernt sich die Erde in Spiralfahrt von der Sonne, allerdings nur so, daß eine knappe Fingerdicke zwischen je zwei Windungen dieser Spirale liegt.

(4) Allgemeine Geometrie. Die drei Winkel in einem Dreieck geben zusammen 180 Grad. Wenn wir das Dreieck nach Bild 267 zerschneiden, können wir die drei Winkel an einem Lineal

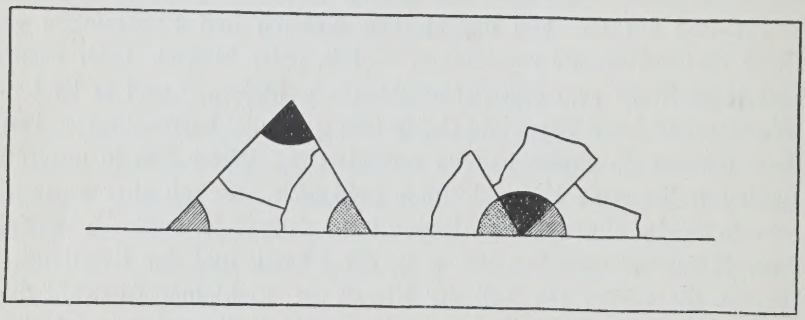


Bild 267. Winkelsumme in einem Dreieck beträgt zwei Rechte.

derart zusammenlegen, daß sie einen ganz geöffneten Fächer von 180 Grad Öffnung ergeben. Denken wir uns die Erde als vollkommene Kugel, so groß wie jetzt, aber aus Stahl, dann läßt sich ein reißbrettgroßes Dreieck schön auf ihre Oberfläche ziselieren. Die Winkel geben „sicher" zwei Rechte. — Wir machen das Dreieck nun immer größer und größer. Das Dreieck „Wien - Berlin - Zürich" macht uns schon Sorgen und „Goldküste - Nordpol - Sumatra" gibt schon drei volle rechte Winkel, statt deren zwei, also 270 Grad. Frage: Wo fängt das normale Dreieck unserer Reißbrettweisheit an, wenn man es immer mehr und mehr vergrößert, 180 Grad nicht mehr zu besitzen? Antwort: Von höherer Warte aus betrachtet, hat es nirgends, außer in unserer Einbildung, exakt 180 Grad. Es ist immer ein, wenn auch allerdings nur unendlich kleiner Überschuß da. Aus dieser und vielen anderen Überlegungen aller Art haben die Mathematiker statt der gewöhnlichen, an und für sich schon Wunder

schaffenden Geometrie sich eine ganz allgemeine zurechtgelegt. Sie haben z. B. gemeinsam mit den Physikern außer den drei Dimensionen, mit denen wir bei allen unserem Zeichenbrett entspringenden Figuren und Räumen normalerweise ganz gut auskommen, sogar eine vierte Dimension zur Erklärung der Welt herangezogen. Sie riefen freilich durch manche wenig zutreffende Namengebung für das Neue, was sie erdachten und erfanden, im Vorstellungswillen auch kluger offener Menschen ein gewisses Unbehagen hervor. Man redet von Raumkrümmung. Das ist einigermaßen irreführend. Das, was wir auf gut deutsch Raum heißen, soll gar nicht krümmbar sein und es hat keinen Zweck, den Verstand zu martern, statt ihn für andere Empfänglichkeiten zu schonen. Der Sinn, den die Mathematiker mit dem genannten Begriff verbinden, ist ein ganz anderer, als ihn gutes Sprachempfinden deuten mag.

(5) Sogenannte Raumkrümmung. Ein Blatt Papier sei 20 Zentimeter breit und 30 Zentimeter lang. Wir nennen die beiden Richtungen, in denen wir die diesbezügliche Messung vornehmen, Ausdehnungen oder Dimensionen. Wenn wir diesen Bogen Papier eben auf den Tisch legen und langsam über die Tischkante schieben, dann bleibt der Bogen zwar zweidimensional. — Wir können nach wie vor an ihm Messungen vornehmen. Er ist auch für eine aufs zweidimensionale Papier gezeichnete zweidimensionale Puppe ein zweidimensionales Etwas; aber von unserem Standpunkt aus — wir und unser Zimmer haben in Länge, Breite und Höhe drei Dimensionen — hat das Blatt eine Dimension dazubekommen: es hängt aus der zweidimensionalen Tischplattenebene „herab" in eine dritte Dimension. — So umständlich allerdings drücken wir das nicht aus. Wir sagen, das Blatt sei gekrümmt, und zwar genauer: „einfach gekrümmt". Doppelt gekrümmt z. B. ist eine Kugelfläche. Die Mathematiker meinen, wenn sie von „gekrümmten Flächen" sprechen, immer nur doppeltgekrümmte. — Unser „Raum" mit seinen drei Dimensionen kann zunächst nicht gekrümmt sein. Die Mathematiker nennen einen Raum aber dann gekrümmt, wenn man ihm zu seinen drei Dimensionen eine vierte derart hinzufügt, daß in ihm die Gesetze unserer gewöhnlichen Geometrie nicht mehr gelten. — Wir wollen sehen, was es zunächst mit der vierten Dimension für eine Bewandtnis haben kann.

(6) Vierte Dimension. Den Mann, der mir unter dem

Niagarafall für den bezahlten Dollar den dicken Gummimantel reichte, habe ich deutlich im Sinn. Er lebt für mich, wie alle Einzelheiten meines kanadischen Ausflugs in bester Erinnerung. Sonst weiß ich nichts von jenem Mann. Länge, Breite und Höhe, irgendwie meßbar, hatte er aber todsicher. — Ich kann ihn, von meinem Standpunkt aus, ein dreidimensionales Wesen nennen. — Für seine nähere Umgebung ist freilich dieser Mann etwas ganz anderes. Man sieht ihn — seit Jahren — seinen Weg zur Arbeitsstätte nehmen. Man kennt nicht nur seine jetzige, sondern auch seine frühere Tätigkeit. Es gesellt sich zu ihm als dreidimensionalem Wesen die Vergangenheit, überhaupt — die Zeit. Sie tritt als vierte Dimension an ihn heran und macht aus ihm ein vierdimensionales Etwas. — Wir dürfen uns übrigens nicht darüber wundern, daß wir die Zeit mit den anderen, den räumlichen Dimensionen, Länge, Breite, Höhe, verbinden. Wir tun das oft, ohne daß es uns besonders auffällt. So haben wir z. B. in den Bildern 172 und 203 ohne weiteres die Zeit mit einer räumlichen Angelegenheit verknüpft. — So ist dreidimensional ein bloßer Gegenstand, und sei er selbst so groß wie der Erdplanet. Vierdimensional sind „Ereignisse", wenn die Erde z. B. sich um ihre Achse dreht, sich allseits besonnen läßt, wenn Tag und Sternennacht entstehen.

(7) Stehende Zukunft. Die Vierdimensionalität der Welt hat man auch so beschrieben: Unser dreidimensionaler Raum ist in eine oder die vierdimensionale „Raum - Zeit - Welt" eingebettet. Man könnte sagen, er fließt oder fliegt in ihr. Alle vier Dimensionen gleichzeitig können wir uns auch in einem noch so raffinierten Bilde nach wie vor unmöglich vorstellen. Wir arbeiten aber vorteilhaft in Vergleichen auf dem Gebiete von zwei oder drei Dimensionen. Ist das geschehen, dann steht es jedem frei, zu einer weiteren Dimension überzugehen und sich selbst mit vier Dimensionen irgendwie seine Gedanken abzuquälen oder sich in froher Erkenntnis der Grenzen unserer, schließlich ohnehin schon farbig-reichen Phantasie mit dem Möglichen abzufinden. — In der Welt, irgendwo, schwebt — wie Bild 268 zeigt — eine, sagen wir gelbleuchtende Neonröhre, die die Form eines Winkels hat. Senkrecht zu dessen Symmetrieachse steht eine zweidimensionale Welt mit überaus intelligenten, zweidimensionalen Puppen, die aber, weil sie eben zweidimensional sind, sich drei Dimensionen ebensowenig vorstellen können wie wir

uns vier. Die Kinoleinwand hat solche zweidimensionale Wesen, die können sogar laufen und schreien und philosophieren. — Unsere Wesen sehen die Neonröhre nicht, denn sie ist in der für die

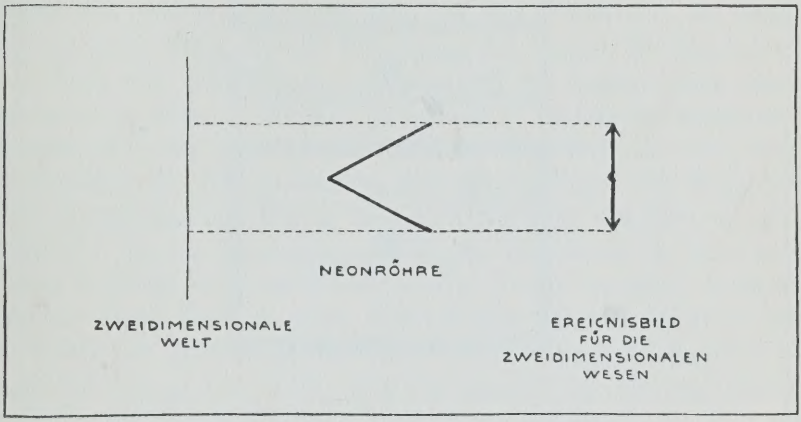


Bild 268. Stehende Zukunft. Eine zweidimensionale Welt bewegt sich und deutet einen an sich zeitlosen Gegenstand als Ereignis.

Puppen unvorstellbaren dritten Dimension. Nun bewegt sich die zweidimensionale Welt von links nach rechts. Plötzlich ist ein gelbleuchtendes Eck „in der Welt". Die Astronomen dieser flachen Welt vermelden einen hellen „Neuen Stern"; geht die kosmische Wand weiter nach rechts, dann teilt sich der Stern, er geht auseinander — er „explodiert" und schließlich verschwinden seine beiden Komponenten. — Den Zweidimensionalen war die Neongeschichte ein „Ereignis", uns Zuschauern, die wir um eine ganze Dimension gescheiter sind, ist Zukunft, Gegenwart, Vergangenheit der Neonröhre von vornherein kein Problem. — Eine Dimension mehr und es wird ein großes Geheimnis klar und einfach offenbar. Selbst das Gravitationsgeheimnis kann so „erklärt" werden, wenn man sich mit Vergleichen begnügt.

(8) Einsteinsche Gravitationstheorie. Wir stellen uns, wie in Bild 269, einen Billardtisch vor. Es soll aber das grüne Tuch keinerlei Unterlage haben, soll enorm widerstandsfähig und im Rahmen absolut gespannt sein. Außerdem umgeben wir eine gewöhnliche Billardkugel mit einer Schale aus dünnstem Eisenblech. All diese Manipulationen und Veränderungen des Tisches nehmen wir im Ge-

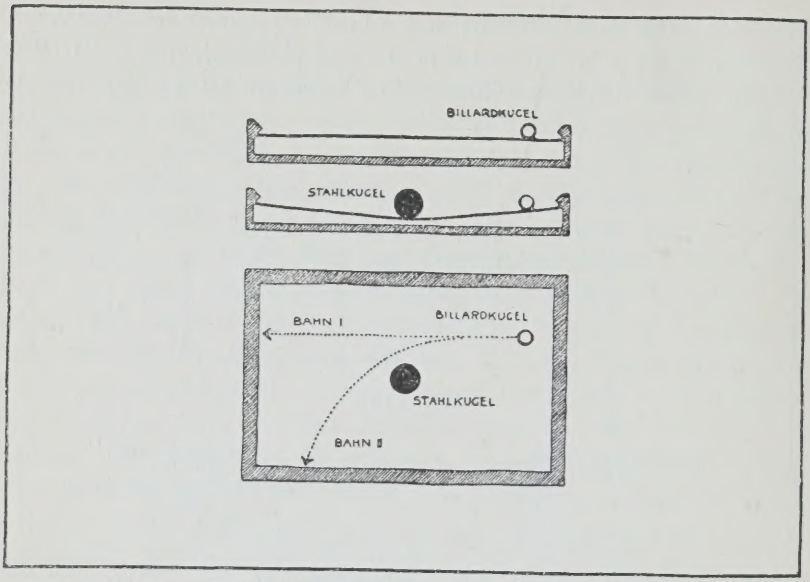


Bild 269. Billardversuch zur Erklärung der Gravitation

heimen vor und sorgen dafür, daß man dem Billardtisch äußerlich nichts ansieht. Wir sind, bevor der erste Spieler kommt, mit den Vorbereitungen fix und fertig.

Wir stoßen nun die Kugel. Sie läuft geradlinig über den Tisch. Daß sie am Rande zurückgeworfen wird, interessiert uns diesmal nicht. Dann wieder legen wir eine schwere Stahlkugel, eine massive, mitten auf das grüne Tuch. Diese biegt das Tuch, wenn auch nur ganz unmerklich, aber doch so ein, daß gleichsam ein flacher Trichter um die Stahlkugel herum entsteht. Der neue Gast denkt im Traum nicht daran, daß das Billardtuch anders beschaffen sei, als die vielen anderen, wie man sie sich eben seit je vorstellt. — Wir stoßen jetzt die Billardkugel an der Stahlkugel vorbei. Sie läuft an der Trichterwandung und macht infolgedessen einen Bogen um die Stahlkugel. Fragen wir den Gast nach der Erklärung dieses Rätsels, dann wird er uns sofort Rede stehen und sich vielleicht noch wundern, daß wir überhaupt fragen. Er wird uns etwa sagen: Die Stahlkugel ist „magnetisch" und die Billardkugel ist mit Eisenblech gepanzert. Ein Magnet zieht Eisen an und so zieht die eine Kugel die andere an und diese andere muß deshalb im Bogen laufen. Das ist höchst einfach!

Zweiter Versuch: Wir nehmen eine gewöhnliche, also nicht gepanzerte Billardkugel und rollen sie neben der Stahlkugel vorbei. Die Elfenbeinkugel beschreibt selbstredend wieder einen Bogen um die Mitte. Aber Elfenbein wird von keinem noch so starken Magneten angezogen. Der fremde Beobachter steht vor einem Rätsel. — Es bleibt nichts anderes übrig, als eine Krümmung des Tuches für den krummen Lauf der Billardkugel verantwortlich zu machen, eine neue Dimension zu Hilfe zu nehmen. So machen es auch in der dreidimensionalen Welt die Physiker. Sie erklären die Welt als eine vierdimensionale und drücken sich so aus, daß sie sagen: Der Raum ist in der Umgebung von Kugeln, Massen wie Sonnen und Sternen, „gekrümmt". Er hat Vertiefungen, wie das Billardtuch, er hat auch Falten, in denen sich andere benachbarte Körper bewegen. Nehmen wir eine solche Falte an, dann finden wir im Umlauf der Erde um die Sonne kein größeres Rätsel, als bei unserem Spiel mit der Billardkugel auf dem grünen Tisch. Alle Bewegungen von Massen können als Folge der „Raumkrümmung" beschrieben werden.

(9) Allgemeine Relativität. Sie ist keine Tatsache, die man glauben oder beweisen kann, für die oder gegen die irgend jemand eingenommen zu sein braucht. Sie ist eine Idee, die darauf abzielt, allen physikalischen Gesetzen, z. B. den Bewegungsgesetzen der Mechanik oder den optischen und elektromagnetischen Gesetzen solche Formulierungen zu geben, daß sie nicht nur auf der festen Erde, sondern auch für einen mit 25 000 Sekundenkilometern dahinschießenden Spiralnebel stimmen oder für einen auf dem je Sekunde Billionen von Umläufen vollführenden Elektron „wohnenden" Physiker. Die physikalischen Gesetze müssen also ganz allgemein gelten. Gewisse Entdeckungen haben den Ausbau dieser Theorie ermöglicht. Man hat allerdings etwas sonderlich klingende Sätze aufstellen müssen, an die sich nicht jeder Erdgebundene — und wir sind alle erdgebunden — gewöhnen mag. Die Sätze — gewöhnlich eingeteilt in solche der „speziellen" und solche der „allgemeinen" Relativitätstheorie — sind: 1. Das Licht hat, wenn keinerlei Medien es hindern, immer die gleiche Sekundengeschwindigkeit von 300 000 Kilometern, sei es, daß wir diese auf der festen Erde stehend oder von einem rasenden Spiralnebel aus messen. Sie ist zugleich die größte Geschwindigkeit, die es gibt, d. h. die größte sekundliche Wegbewegung zweier materieller Teilchen voneinander. — 2. Jeder

Maßstab, als solcher nichts anderes als ein stangenförmiger Mückenschwarm, ändert, je nachdem, ob wir ihn auf der Erde festhalten oder ihn einem rasenden Spiralnebel nachjagen, seine Länge. Er ist kürzer, wenn er irgendwie in seiner Längsrichtung dahinsaust, als wenn er auf meinem Tisch ruht. Aber auch ein Physiker auf dem Spiralnebel findet dort den bei ihm befindlichen Stab länger, als den vom Nebel aus gesehen mit der Erde dahinfliegenden irdischen Stab. — Zunächst sind Bewegungen relativ. Dieser Grundsatz durchzog unser ganzes Buch, vom ersten Abschnitt an. Die allgemeine Relativitätstheorie sagt aber, daß nicht nur alle Bewegung, sondern auch jede Strecke relativ ist, ja sogar jede geometrische Form und sogar jede Zeitstrecke, so daß z. B. für mich eine idealgute Taschenuhr langsamer geht, wenn ich sie mit enormer Geschwindigkeit zum Fenster hinauswerfe oder sie gar irgendwie dem Nebelphysiker auf den Tisch zaubere, als wenn sie auf meinem Arbeitstisch liegt. Geht sie hier auf meinem Tisch normal, so zeigt sie wieder langsameren Gang für den Nebelphysiker. Auch hier ist alles relativ. — 3. Uhren gehen aber nicht nur in diesen Fällen, also infolge von Bewegungsänderungen langsamer, sondern auch, wenn sie in einem Schwerefeld einer großen Masse sich befinden. Die interessantesten Uhren sind die Atome mit ihren Elektronenzeigern. In der Nähe großer Massen „gehen" sie langsamer. Die Elektronen laufen langsamer und die Strahlung hat langsamere Schwingungen. Die entsprechenden Spektrallinien — wir nannten es im Sonnenkapitel „Gravitationseffekt" — verschieben sich nach Rot. — Eine weitere prinzipielle Folgerung aus der Forderung allgemeinster Relativität ist folgende: 4. Jede Schwerewirkung kann ohne weiteres als unmittelbares Ergebnis einer beschleunigten, d. h. ununterbrochen immer rascher werdenden Bewegung aufgefaßt werden, was noch veranschaulicht werden soll. 5. Statt der Gleichzeitigkeit, die uns eine Selbstverständlichkeit dünkt, setzt die allgemeine Relativitätstheorie eine prinzipiell schärfer formulierte fest, die man die „differentielle Gleichzeitigkeit" nennen könnte. Hiernach können wir keine Gleichzeitigkeit zweier weit auseinanderliegender Ereignisse etwa hier auf der Erde und auf dem Andromedanebel im Sinne gefühlsmäßiger Selbstverständlichkeit eindeutig festsetzen. Es ist nur möglich, für zwei etwa in unmittelbarer Nähe sich abspielende Ereignisse eine solche einwandfrei festzulegen.

(10) Freier Fall und Schwere. Wenn wir uns im allseits

verschlossenen Personenaufzug eines Turmhauses befinden — wir schreiben in Gedanken dem Haus enorme Höhe zu — und in dem Kasten, der vollkommen reibungsfreie Bewegung haben soll, Versuche angestellt werden, so ist es — von unserem persönlichen Behagen oder Unbehagen sehen wir ab — aus den Versuchen heraus nicht entscheidbar, ob z. B. ein Stein eine Federspirale, an der er hängt, deshalb weniger spannt als sonst, weil wir mit Beschleunigung fallen, oder ob sich gerade während der Beobachtung irgend ein massenreiches Meteor über dem Turmhaus befindet, das eben den Stein anzieht und so die Federspannung verkleinert. Allgemein drückt man dies so aus: Schwere und Beschleunigung sind in der Aufstellung von Naturgesetzen als ganz gleichwertig zu betrachten.

(11) Licht im Schwerefeld. Der große Kasten in Bild 270 fällt beschleunigt in der Richtung des großen Pfeiles. Ein Stern rechts

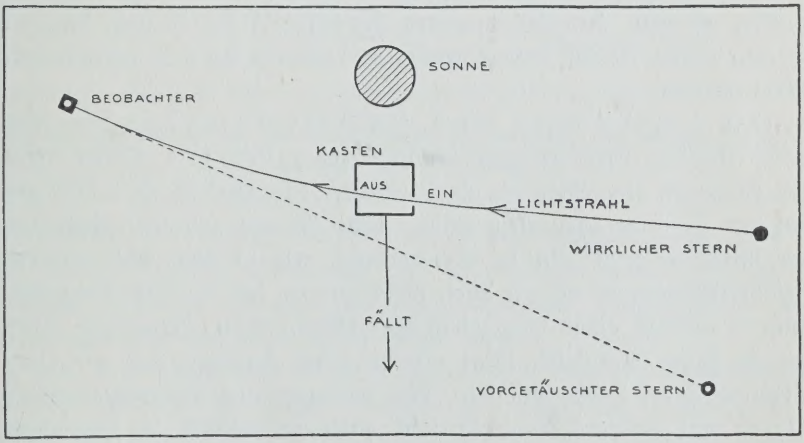


Bild 270. Schwerefeld und Trägheit. Fallender Kasten.

sendet seinen Lichtstrahl in den Kasten; in der Zeit, in der der Lichtstrahl den Kasten durcheilt, fällt der Kasten, der Lichtweg im Kasten ist also gekrümmt. Da aber nach dem Vorigen eine schwere Masse dieselbe Wirkung wie eine Beschleunigung hervorruft, können wir uns den Kasten auch ruhend vorstellen und als schwere Masse etwa die Sonne über den Kasten tun. Der Kasten wird dann überhaupt überflüssig: der Lichtstrahl muß die Sonne im Bogen umkrümmen. Der Beobachter sieht den Stern nicht an seinem Platz, sondern sound-

so viel Bogensekunden von der Sonne weg verschoben. Da der Betrag klein ist und nur bei knapp an der Sonne vorbeieilenden Sternlichtstrahlen meßbare Größe erreicht, werden derartige Messungen nur bei totalen Sonnenfinsternissen gemacht. Der an Sternen in umittelbarer Nähe des Sonnenrandes beobachtete Betrag stimmt mit dem theoretisch bestimmbaren — 1,7 Bogensekunden — annehmbar gut überein.

(12) Rotation im Schwerefeld. Bahnellipsen der Planeten und Monde werden durch Störungen derart beeinflußt, daß sich die Apsidenlinien in den Bahnebenen drehen. Bei Merkur können etwa $^2/_5$ Bogensekunden jährlicher Veränderung selbst unter Beachtung aller bekannten Störungsmöglichkeiten nicht erklärt werden. Die Relativitätstheorie verlangt aber zwangsläufig selbst unter Ausschaltung aller Störungen eine besondere Perihelverschiebung bei allen Planeten und Monden. Der Betrag ist im allgemeinen zu klein, um meßbar zu sein. Nur im innersten Schwerefeld der Sonne, dort wo Merkur kreist, ist der Betrag größer und stimmt mit dem berechneten Wert überein.

(13) Astronomie und Relativitätstheorie. Die relativistischen Erörterungen astronomischer Probleme dürfen nicht den Eindruck erwecken, als ob die nichtrelativistischen als solche geringerer Geltung anzusehen seien. Eine Grenze zwischen den Anwendungsbereichen gibt es ebensowenig, wie in dem Fall unseres Reißbrettdreieckes, wo wir auch nicht wissen, bei welcher Vergrößerung es anfängt, einen Überschuß über 180 Grad zu bekommen. Aber gerade dieser Vergleich führt uns zu einer Aussage, der wir etwa folgende Form geben können: Wir bewegen uns als erdgebundene Wesen mit unserer Technik und auch gedanklich in Bereichen, die wir die mittleren nennen wollen. Im ganz Kleinen jedoch, in der Welt der Elektronen, wie im ganz Großen, hinter den fliehenden Nebeln, sieht die Welt „anders" aus und nur unter ganz besonders seltenen Umständen äußert sich dieses „anderswie". Erst hier wird die Abweichung von mittleren Zuständen meßbar. — In rein astronomischen Dingen kommen hier eigentlich nur drei Angelegenheiten in Betracht: Die erwähnte Lichtablenkung bei Finsternissen, dann die eben beschriebene Perihelbewegung des Merkur und schließlich der Gravitationseffekt, die Rotverschiebung in dem Spektrum solcher Lichtstrahlen, die direkt aus dem großen Schwerefeld der Sonne kom-

men oder von Sternen stammen, die, wie z. B. der Siriusbegleiter, außergewöhnlich stark konzentrierte Massen besitzen. Die gemessene Rotverschiebung im Spektrum dieses Sternes stimmt mit der berechneten

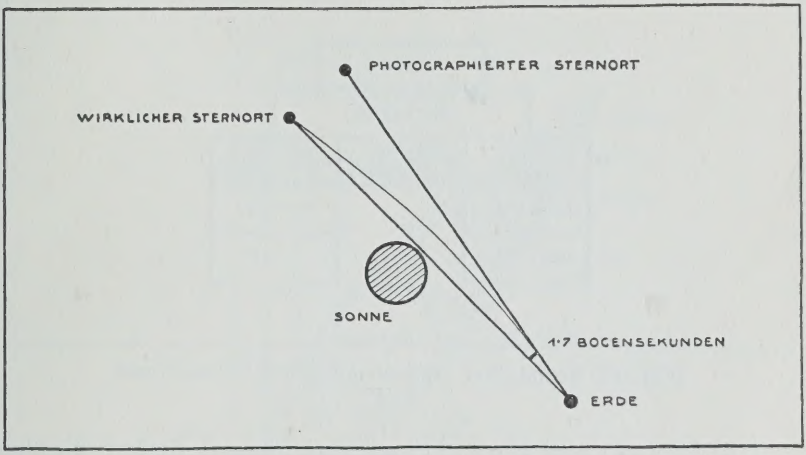


Bild 271. Ablenkung der Sternlichtstrahlen in der Nähe der Sonne. Zu vergleichen mit Bild 270.

gut überein. Die riskante Kleinheit der Beträge, um die es sich in allen drei astronomischen Problemen der allgemeinen Relativitätstheorie handelt, haben es mit sich gebracht, daß an der Stichhaltigkeit der Messungsergebnisse noch Kritik geübt wird.

(14) Kosmogonie des Alls. Fragen der Weltentwicklung sind, wenn wir von einigen wenigen gut fundierten Theorien absehen, rein hypothetischer Natur. Wir haben derartige kosmogonische Betrachtungen bei verschiedenen Gelegenheiten in unserem Buch eingefügt und geben hier noch eine kurze Gesamtübersicht und eine Ergänzung: Entstehung des Planetensystems. — Ein „Chaos" bildet den zeitlichen Ausgangspunkt aller Betrachtung. Aus dem Chaos formen sich die Spiralnebel im weiteren Sinne. Als deren Sprößlinge sind die Sterne zu betrachten, die sich als raschrotierende in binäre und dann, wie etwa im Falle von Zeta im Krebs, weiter in Subsysteme spalten. Gestörte Einzelgänger vermehren sich, wenn die Gezeitenhypothese des nächsten Kapitels ihrem Wesen nach richtig ist, eben infolge dieser Störung. Es entstehen Planeten und aus

ihnen Planeten einer weiteren Generation. Diese Planeten gleichsam zweiter Art nennen wir Monde (Bild 272).

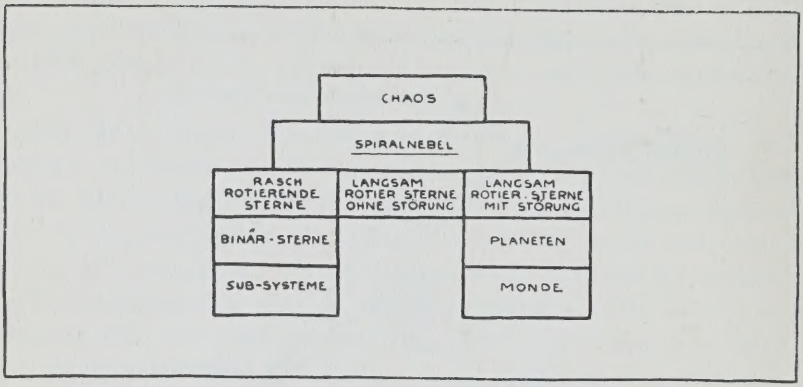


Bild 272. Kosmischer Stammbaum. Fünf Generationen

(15) Jeanssche Gezeitenhypothese. Bloße Schleuderwirkungen eines Urnebels oder gar eines Urhaufens können die Entwicklung unseres Sonnensystems kaum erklären. Nach der Jeansschen „Gezeitenhypothese", deren Idee bereits zur Erklärung der Spiralnebel- und Sternentwicklung erörtert wurde, wird unsere Sonne, besser gesagt die stellare Masse, aus der sich unser ganzes Sonnensystem formen soll, durch einen anderen Stern etwa bei dessen vorübergehender Annäherung an die Sonne, derart störend beeinflußt, daß große Stücke Materie aus dem Sonnenkörper herausgesogen werden. Vielleicht war die neue Masse torpedoförmig (Bild 273) und dann konnten an den spitzen Enden kleinere, in der Mitte größere Massenvorräte gleichsam kondensieren. Dies geschah rasch bei den äußersten, kleineren Planeten. Sie hatten keine Zeit, Monde zu erzeugen. Merkur, Venus, Pluto sind mondlose feste Planeten, die sich aus den schon verflüssigten Enden der Gasmasse bildeten. Erde und Neptun konnten gerade noch einen relativ großen Mond abschnüren. Mars und Uranus waren, so will es die Hypothese, anfangs größer, konnten aber ihre ursprünglichen Lufthüllen, weil sie doch zu massenarm waren, nicht behalten. Die inneren in der Reihe sind die großen Planeten mit gewaltiger Erbmasse, großem Wärmevorrat. Sie haben viele Monde aus der gasförmigen Masse, durch Gezeitenwirkung oder Rotation hervorgebracht.

So entstanden Jupiter mit 9 und Saturn mit 10 Monden. Diese Hypothese soll nur ein Beispiel für die vielen sein, die aufgestellt wurden und werden.

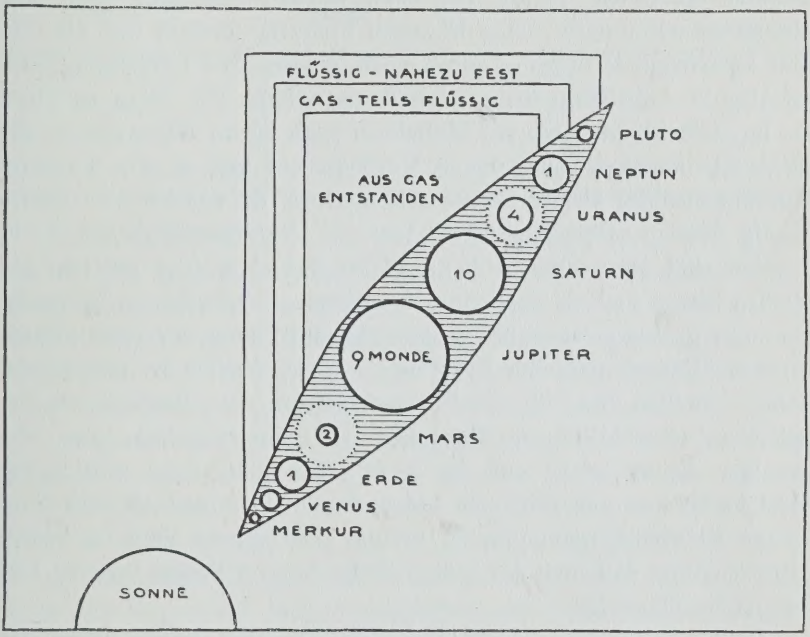


Bild 273. Zum Thema: Jeanssche Kosmogonie

(16) Weltall und Lebewesen. Wenn man aus dem eingeschränkten Bereich seiner engeren Umgebung auf Zustände in weiter Ferne schließt, so nennt man das, einen Analogieschluß ziehen. Analogieschlüsse können in gewissen Fällen zwingend sein. Wenn wir z. B. in einen Wald uns unbekannter Bäume gehen und an einem Blatt feststellen, daß es rötliche Flecke hat, dann ist es ein Unding, zu behaupten, daß nicht auch andere Blätter in jenem großen Wald rötliche Flecke haben könnten. Es ist vielmehr sehr wahrscheinlich, daß es solche Blätter gibt. So ist es auch anzunehmen, daß unsere Erde nicht der einzige Himmelskörper ist, auf dem Menschen — irgendwelcher Art — leben. Im Planetensystem kommen allenfalls Mars und Venus als bewohnbar in Betracht, doch wären dies keine guten Beispiele für eine richtige Analogieanwendung, denn diese be-

ruht auf der Grundlage einer sehr großen Zahl, wie es die Blätter im Wald oder die Sterne in der Milchstraße sind oder die im ganzen All. Wenn die Idee der Gezeitenhypothese, die wir im vorigen Kapitel erörterten, richtig ist, dann können allerdings nicht alle Sterne so wie unsere Sonne Planeten besitzen, sondern nur die, die eine katastrophale Störung durch einen anderen Stern erfuhren. Nun ist aber in Anbetracht der großen Entfernungen von Stern zu Stern — im stellaren Maßstab ein Mohnkorn nach jedem Kilometer — die Wahrscheinlichkeit eines engen Vorübereilens fast so wie die eines Zusammenstoßes zweier Sterne sehr gering. Es werden also relativ wenig Sonnen „Planetenmütter" sein. — Die diesbezüglichen Rechnereien sind ganz unterhaltlich: Wenn irgend welche gutüberlegte Zahlen besser sind als gar keine, dann kann — alles knapp bemessen — unser großes galaktisches System tausend Planetensysteme zählen. In 100 Milliarden solcher Systeme — soviel dürften im ganzen All sein — müßten 100 Billionen Planetensysteme sein. Rechnen wir bescheiden 1000 Millionen Menschen je Planetensystem, also viel weniger als es solche auf der Erde allein gibt, dann meldet der Rechenstift 100 000 Trillionen „Menschen". Der buchstäbliche Sinn dieser Überschlagsrechnung ist gering. Der innere Sinn ist unsere Überzeugung, daß auch das außerirdische All von Wesen unseren Gepräges bevölkert ist.

(17) Alter der Welt. Das Alter der Erde, besser gesagt der Erdkruste, wurde geologisch aus der Schätzung der Zeit bestimmt, die bestimmte Gesteinsablagerungen zu ihrem Zustandekommen benötigten. Es wurde auch paläontologisch aus den Überlegungen über die Größe der Zeiträume verschiedener tierischer und pflanzlicher Entwicklungsstufen zu ermitteln versucht. Die zuverlässigste Methode bietet die Radiumforschung. Aus dem Massenverhältnis der in der Erde miteinander vorkommenden Mengen von Uran und Uranblei war es möglich, einen Betrag von ungefähr zwei Milliarden Jahren für die Zeit seit der Erstarrung der Erde zu errechnen. — Über das Alter der Sterne konnte auf folgendem Weg etwas ausgesagt werden: Wird die halbe Masse eines beliebigen Körpers mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit multipliziert, so nennen wir das Resultat die kinetische oder Bewegungsenergie des Körpers. Sie kann in Kilogrammetern ausgedrückt werden. In der folgenden Tabelle ist die Masse der Sterne in Einheiten von Quintillionen Kilogrammen, die

Geschwindigkeiten in Kilometern je Sekunde und die kinetischen Energien in Einheiten von 100 Sextillionen Kilogrammetern angegeben.

Sterntyp	Masse	Geschwindigkeit	Kinetische Energie
A-Sterne	12	25	4
F-Sterne	5	36	3
G-Sterne	2	65	4
K- und M-Sterne	1—1½	etwa 80	4

Die kinetische Energie der in obiger Statistik verwendeten Sterne, die für die kosmogonischen Zeiträume als durcheinander bewegte Körper angesehen werden müssen, ist — wenn wir die relativ geringe Abweichung bei den F-Sternen außer acht lassen — sozusagen bei allen angeführten Spektraltypen gleich. Es kann diese gewiß auffällige Übereinstimmung so gedeutet werden, daß erst im Verlauf der Aeonen ein Ausgleich der kinetischen Energien erfolgte. Nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung kann die Zeit bis zum idealen „Durchmischen" berechnet werden. — Nun fügen sich aber die B-Sterne nicht in dieses Schema und aus der Abweichung ihrer durchschnittlichen kinetischen Energie von der der anderen Sterne konnte, immer nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit, der Prozentbetrag der Zeit errechnet werden, der noch bis zum vollständigen Durchmischen aller Sterne fehlt, und so das Alter der Sterne ermittelt werden. Man fand hiefür bis 10 Billionen Jahre. Dieselbe Zeitdimension gilt auch für die Sonne. Es ist demnach ganz ungefähr:

Sonne = 10 000mal älter als die Erde,
Erde = 10 000mal älter als die Menschheit,
Menschheit = 10 000mal älter als ein „Mensch".

(18) Weltuntergangsfrage. Der Begriff „Welt" ist vieldeutig. Das Atom, die Summe aller Zeitungsleser, die ganze Erde, das Sonnensystem, schließlich im besten Sinne das gesamte Universum heißt „Welt". Wir glauben nicht fehlzugehen, daß mit dem üblichen durchaus nicht wissenschaftlichen Begriff „Weltuntergang" jener der Menschheit gemeint ist. Ewig wird sie bestimmt nicht leben. Über die Grenzen ihres Daseins kann etwa der Biologe nachdenken. Am tolerantesten dürfte der Astronom sein. Er kann, gemeinsam mit dem

Meteorologen, ohne persönliches Risiko zu ermitteln suchen, wann die Sonne so weit abgekühlt sein dürfte, daß das Klima der inzwischen von der Sonne abgerückten Erde für die Existenz von Menschen nicht mehr geeignet ist. Er kann auch, gemeinsam mit dem Atomphysiker, etwa unter der Voraussetzung, daß wirklich durch Vereinigung von positiven und negativen Bausteinen der Sonne deren Materie vernichtet wird, einen Voranschlag machen, wie lange dieser große Ofen „Sonne" noch für uns heiß genug sein wird. Schließlich kann nach rein kosmogonischen Gesichtspunkten auf eine weitere dritte Art dieser äußerst hypothetische Ideenkreis betreten werden: In Bild 235 finden sich im stellaren Hauptdiagramm große Flächen schraffiert, in denen sich keine oder wenige Sterne befinden, und dann sicher nur in unstabilem Zustand. Unsere Sonne ist „nahe" einem solchen „Abgrund", aber diese Nähe oder Ferne hat nur zeitlich genommen einen Sinn. Je nachdem, welchen „Weg" man der Sonne durch das bunte Gebiet der verschiedenen Sternzustände für Vergangenheit und Zukunft zubilligt, kann die Wanderung bis zum instabilen Feld kürzer oder länger dauern. Nimmt man etwa einen mittleren Weg an, so zeigt sich für die Lebensdauer unserer Sonne — für die Zeit bis zu einem Explodieren oder sonstigen „Nichtmehrexistieren" — ein ähnlicher Betrag, wie bei den anderen zwei Methoden. Es darf eine Billion von Jahren als die beste Zahl für die Zeit angegeben werden, die der Sonne vergönnt sein darf, sich „unsere" Sonne zu nennen, wenn das „unser" dann noch einen Sinn haben könnte.

(19) Expansion der Welt. Wenn wir uns dessen erinnern, was im vorigen Abschnitt über die Nebelflucht gesagt wurde, und die Zahlenangaben in Bild 266 uns neuerdings vergegenwärtigen, dann verstehen wir die Behauptung, daß die ganze Welt tatsächlich explodiert. Nach der direkten Beobachtung eilt alles von uns weg. Den egoistischen Standpunkt, daß wir der Mittelpunkt der explodierenden Weltgranate sind — wenn man das überhaupt Egoismus nennen darf, sich justament in der Mitte einer Katastrophe zu wähnen — müssen wir von vornherein aufgeben. Nichts in der Welt deutet darauf hin, daß unsere kleine Erde, oder der Sternzwerg Sonne oder überhaupt unsere Milchstraße vor andern ihresgleichen bevorzugt wäre. Wir können also die Expansion der Welt, wenn wir überhaupt die an sich einwandfreie Beobachtung an den Spiralnebeln richtig gedeutet haben, mit einer immer größer werdenden

Rauchwolke vergleichen, in der alle Teilchen von allen andern Teilchen sich entfernen. Das, was wir beobachten, die Verschiebung der Spektrallinien nach Rot, kann aber, wie wir im Sonnenabschnitt bei Besprechung der Spektralgesetze zeigten, nicht nur als Radialeffekt, sondern auch als Gravitationseffekt gedeutet werden: Das Licht z. B., das aus dem Schwerefeld der Sonne austritt, verliert sozusagen durch die Gravitationswirkung der Sonne etwas von seiner Energie, die es abgeben muß, um sich aus dem großen Schwerefeld zu befreien. Ein Lichtstrahl, der somit energieärmer wird, schwingt langsamer, wird roter, seine Spektrallinie verschiebt sich gegen Rot ebenso, wie wenn die Lichtquelle sich von uns entfernte. — Das Problem des sich ausdehnenden Universums ist eben wegen dieser zweifachen Deutung heute noch nicht geklärt. Die mathematischen Formeln, mit denen man die genannten Erscheinungen beschreiben will, bewegen sich in vier Dimensionen und es ist deshalb nur dann möglich, sich eine wirkliche Vorstellung ihrer kosmischen Bedeutung zu machen, wenn man sich mit Vergleichen, mit Bildern geringerer Dimension, begnügt.

Die allgemein als vierdimensional angenommene Welt besitzt grundsätzlich eine Krümmung. Sie kann freilich durchaus verschiedener Art sein, ohne daß die Mathematiker und Astronomen sich heute schon über die Art der Krümmung vollkommen einig wären. Wenn sich aber die Mathematiker über die Möglichkeit dieser oder jener Welt äußern, so sind diese Welten nichts anderes als Formelausdrücke, Gleichungen. Greifbare Modelle dieser „Welten" kann auch der Mathematiker nur dann herstellen, d. h. er kann sich seine „Welten" nur dann vorstellen, wenn er sich mit Modellen geringerer Dimensionsanzahl zufrieden gibt. Modelle der verschiedenen möglichen Raumkrümmungen soll zunächst Bild 274 in Form von zweidimensionalen „Scheiben" wiedergeben. Bei der mittleren (Krümmung „Null") ist der Umfang 3,14mal größer als ein Durchmesser. Bei der ersten, gewölbten Scheibe (Krümmung „positiv" genannt) ist der Umfang kleiner als 3,14, wenn ein Durchmesser gleich Eins gesetzt wird. Bei der dritten Scheibe mit gewellter Fläche (Krümmung „negativ" genannt) ist der Umfang, wenn der Durchmesser Eins ist, größer als 3,14. — Für das ganze vierdimensionale Universum selbst wurden nach derselben Idee — Verminderung der Dimensionsanzahl — zwei dreidimensionale Modelle entworfen, die statt einer Raumkrümmung eine Flächenkrümmung nach Art der Seifenblase auf-

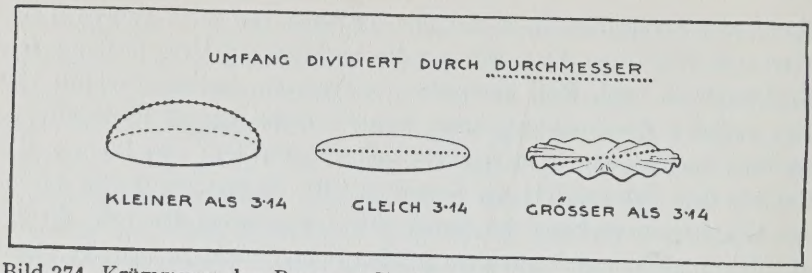


Bild 274. Krümmung des Raumes. Sie kann Null, positiv oder negativ sein. Drei Beispiele aus dem Gebiet zweidimensionaler Gebilde

weisen (Bild 275). — Das eine Modell links stellt das sogenannte statische oder Einsteinsche dar, das andere rechts das leere oder de Sittersche. Das „statische" behauptet, daß die Welt mit Materie

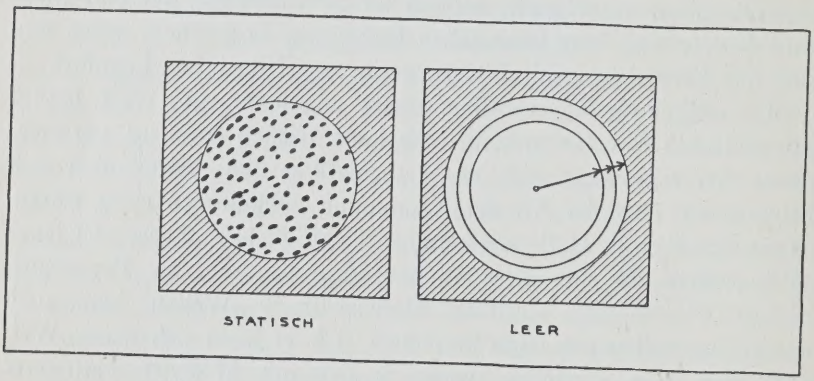


Bild 275. „Statisches" und „leeres" Universum

— die Flecke sollen dies andeuten — ganz angefüllt sei und daß es stabil sei. Es kann die an den Nebeln beobachtete Expansion überhaupt nicht erklären. Das „leere" behauptet, daß die Welt relativ unendlich wenig Materie besitze und verlangt Expansion des Alls. Unsere Welt scheint den Forderungen des zweiten, de Sitterschen Modells angepaßt zu sein. — Unser gegenwärtiges Universum ist also am ehesten ein de Sittersches, doch wird angenommen, daß es sich aus einem statischen entwickelt hat. Dann würden etwa die Spiralnebel ihren gegenwärtigen Abstand schon in etwa 1400 Millionen Jahren verdoppeln. Das ist eine relativ kurze Zeit, in Anbetracht

des Umstandes, daß man der Erdkruste ein Alter von 2000 Millionen Jahren zuschreibt. Jedenfalls hat nach aller Theorie das Universum ebenso eine Lebensgeschichte wie ein Stern oder wie ein Mensch. Die bewegenden Kräfte im All sind im wesentlichen die Newtonsche Gravitationskraft als vereinigendes Moment und eine ihrem Wesen nach nicht weiter erklärbare „kosmologische Abstoßung".

ZEHNTER ABSCHNITT
WELTENTAFELN

Verhältnismaßstäbe / Vorstellungsskalen / Dimensionstafeln / System der Verhältnismaßstäbe / Längentafel (L-Tafel) / Massentafel (M-Tafel) / Zeitentafel (T-Tafel) / Schwingungen / Geologische und kosmogonische Zeiträume / Sinn unserer Normierungsvorschläge — und Schluß

(1) Verhältnismaßstäbe. Wenn der Mensch trotz oder gerade wegen jener Billionen und Trillionen im großen und kleinen Kosmos wirklich „das Maß aller Dinge" ist — es liegt in diesem Bekenntnis ein gut Stück Forderung nach Kultur in der mechanisierenden Tendenz aller exakten Wissenschaft — dann darf uns das Bedürfnis nach Ordnung — auch in den Belangen der Naturbeschreibung — nicht weniger wichtig sein als die Verbindung „Welt-Mensch". Mit den Augen es messend sehen, mit dem Zeitgefühl es erfassen, mit der Hand es wiegen und wägen — dies Kunststück bringt bei Sterngiganten und Milchstraßen ebensowenig jemand zustande, wie bei Atomen und deren Elektronen. Das Beste, was wir tun können, ist, auf irgend eine Weise die unserem Anschauungsvermögen fremden Dimensionen durch Verkleinerungen und Vergrößerungen in den Bereich unserer Vorstellung zu zwingen. Dazu benötigen wir verschiedene Verhältnismaßstäbe, wie sie sich allerorts in der Literatur finden und wie sie letzten Endes eine jede Skizze und jede Photographie darstellt. — Schlägt man allerdings zwanzig Bücher ernster Autoren auf, so gibt es ebenso viele Ideen für derartige Verhältnismaßstäbe. Wir möchten diese die lokalen heißen, denn sie richten sich gerne nach irgend einem größten Gebäude oder einem freien Platz in dieser oder jener Stadt. Im großen Austausch der Ideen verlieren diese örtlichen Bilder die ihnen in engstem Kreis zweifellos innewohnende Kraft. — Führen wir jedoch für Länge, Masse und Zeit z. B. ausschließlich die Einheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde und deren Vielfache und Teile ein, und ordnen wir alle Dimensionen nach dem Prinzip des multiplikativen Zählens: 1, 10,

100, 1000 usw., ebenso 0,1, 0,01, 0,001 usw., dann bedarf es zunächst nur einer Einigung darüber, was man als „vorstellbar" ansehen darf und soll.

(2) Vorstellungsskalen. Statt eine Diskussion über den Begriff „vorstellbar" einzuleiten, sind hier in unserem Buch für Längen das Intervall von der Haarbreite bis zum Erdquadranten, für die Massen das Intervall zwischen der Masse eines großen Staubkornes und etwa der eines großen Häuserblocks und für Zeiten das Intervall zwischen einer hundertstel Sekunde und einem Menschenalter als „vorstellbar" festgelegt. „Vorstellbar" wird hier also gleichsam zum technischen, zum Kunstausdruck gemacht. Die Tabelle der Vorstellungsskalen gibt Beispiele, an denen die Möglichkeit einer „Vorstellung" auch im alltäglichen Sinn geprüft werden kann. Die erste Spalte dieser Tabelle gibt die Zeilennummer beim multiplikativen Zählen von Null aufwärts — wenn kein Vorzeichen da ist, mit dem Pluszeichen zu denken — oder von Null abwärts mit Minuszeichen ver-

VORSTELLUNGSSKALEN

Zahl P	Längen in Zentimetern	Massen in Grammen	Zeiten in Sekunden
12		Häuserblock	
11		Größter Turmbau	
10		Dampfer	
9	Erdquadrant	Eisenbahnzug	Menschenalter
8	Wien-Paris	Lokomotive	3 Jahre
7	Landschaft	Waggon	4 Monate
6	Stadt	Lastauto	2 Wochen
5	Straße	Schwerer Mensch	1 Tag
4	Turm	Handkoffer	3 Stunden
3	Hörsaal	Dickes Buch	1/4 Stunde
2	Tisch	Broschüre	2 Minuten
1	Hand	Bleistift	10 Sekunden
0	Fingerdicke	Zigarette	1 Sekunde
− 1	Drahtdicke	Zündholz	1/10 Sekunde
− 2	Haarbreite	Zündholzkopf	1/100 Sekunde
− 3		Haar	
− 4			
− 5		Großes Staubkorn	

sehen. Es bedeutet die Zahl, die wir Zehnerpotenzzahl nennen und mit dem Namen P bezeichnen wollen, mit wieviel Nullen man die stets mit 1 beginnenden Glieder in der Reihe des multiplikativen Zählens schreibt. Ist P z. B. gleich 9, so bedeutet dies eine Eins mit neun Nullen, also 1 000 000 000. Ist P gleich -5, so heißt dies, daß die Eins erst an 5. Stelle nach dem Dezimalkomma erscheint, also 0,000 01. Die Benennungen der Zahlen sind Zentimeter bei Längen, Gramme bei Massen oder Gewichten und Sekunden bei Zeiten. Für P = 0 sollen die Dimensionen 1 Zentimeter, 1 Gramm, 1 Sekunde gelten. Die Vorstellungsskala für Längen und Zeiten umfaßt je 12 Stufen oder Zeilen, die für Massen nach oben und nach unten je 3 mehr. Da einer zehnmal so großen linearen Ausdehnung eines Gegenstandes ein 1000mal so großer Inhalt entspricht und die Massen sich bei gleicher Dichte wie die Inhalte verhalten, so ist die Erweiterung der Vorstellungsskala für Massen um die erwähnten Beträge erklärlich.

(3) Dimensionstafeln. Zur Veranschaulichung aller Längen-, Massen- und Zeitenverhältnisse haben wir drei Dimensionstafeln erdacht, eine Längentafel oder L-Tafel, eine Massentafel oder M-Tafel und eine Zeitentafel oder T-Tafel. Man möge sie in ihrer Gesamtheit Weltentafeln nennen. Die L-Tafel zeigt Seite 559, die T-Tafel Seite 567. Die äußere Form einer jeden ist durch eine Dimensionsleiter und zwei Äste gekennzeichnet. Der nach links unten zeigende Ast trägt Vergrößerungs-, der nach rechts oben gehende Verkleinerungsmaßstäbe in Form der Vorstellungsskalen. Die Leitern enthalten die Größen und Objekte in der Welt derart angeordnet, daß jeder Zeile ein zehnmal so großes oder zehnmal so „schweres" Objekt oder ein zehnmal so lang dauernder Zeitraum entspricht, als dem in der Zeile unmittelbar darunter befindlichen. Mit geöffnetem Zirkel lassen sich beliebige Proportionen aus den Tafeln herauslesen. Greifen wir aus der Zeitentafel z. B. die Zeilen -17, -4, +9, +22 heraus, so verhält sich die Periode einer Röntgenwelle zu der des höchsten Tones, wie diese zur Dauer eines Menschenalters oder wie diese letztere zum „Alter der Materie". — Werden die Vorstellungsskalen an verschiedene Stellen der Dimensionsleitern herangeschoben, dann vergrößern und verkleinern sich die zu ihnen gehörenden physikalischen oder astronomischen Gebiete. — Alle Dimensionen, die überhaupt vergrößert oder verkleinert werden sollen, werden von

mindestens einer, gewöhnlich auch von Teilen einer zweiten benachbarten Skala belegt.

(4) System der Verhältnismaßstäbe. Den einzelnen Verhältnismaßstäben sind die in der Tafel „System der Verhältnismaßstäbe“ angeführten Namen gegeben. Fügen wir in den Längen- und Zeitenspalten in den Zeilen +3 und - 3 „technische“ Vergrößerungs- und Verkleinerungsmaßstäbe, in der Massenspalte in der

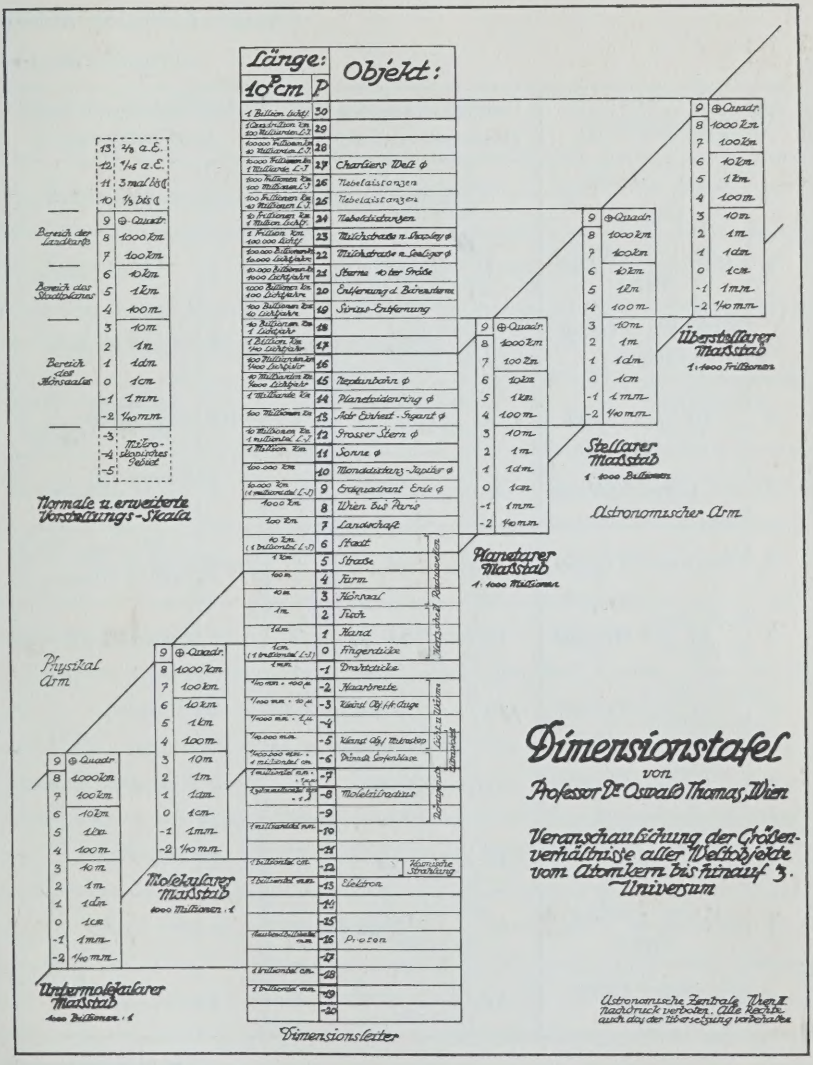
SYSTEM DER VERHÄLTNISMASSTÄBE

(Mb. bedeutet „Maßstab“)

Zahl P	Längen	Massen	Zeiten
48		Oktilliontel-Mb.	
45			
42			
39			
36		Sextilliontel-Mb.	
33			
30			
27			
24		Quadrilliontel-Mb.	
21	Überstellarer Mb.		
18			
15	Stellarer Mb.		Kosmogonischer Mb.
12		Billiontel-Mb.	
9	Planetarer Mb.		Geologischer Mb.
6			
3			
0			
— 3			
— 6			
— 9	Molekularer Mb.		1. Schwingungs-Mb.
— 12		Billionen-Mb.	
— 15	Untermolekularer Mb.		2. Schwingungs-Mb.
— 18			
— 21			3. Schwingungs-Mb.
— 24		Quadrillionen-Mb.	

Zeile Null formal einen Maßstab 1 : 1 ein, dann ist die Differenz der entsprechenden aufeinanderfolgenden P-Zahlen bei Längen und Zeiten konstant 6, bei den Massen konstant 12. — In der Längentafel bewegen sich die Verhältnismaßstäbe zwischen „minus 15-" und „plus 21facher", in der Massentafel zwischen „minus 24-" und „plus 48facher" Verkleinerung, in der Zeitentafel endlich zwischen „minus 21-" und „plus 15facher" Verkleinerung, wobei „Minusverkleinerung" eine Vergrößerung bedeuten soll.

(5) Längentafel (L-Tafel). Vorstellungsskala und Objekte für die Bereiche der fünf angewandten Verhältnismaßstäbe gibt die „Längentafel in Nebeneinanderschaltung". — Veranschaulichungen im Sinne dieser Tafel sind zum Teil an verschiedenen Stellen unseres Buches gegeben worden. So wurden z. B. gebraucht: im Sonnenabschnitt der untermolekulare Maßstab bei Beschreibung des Wasserstoffatoms, der planetare Maßstab bei Besprechung der Größenverhältnisse der Sonne, der Planeten, der Kometen und der Sterngiganten, der stellare, zum Teil auch der überstellare Maßstab besonders in den Abschnitten über das galaktische System und über die Spiralnebel. — Es soll nur noch ein Beispiel für die Anwendung des molekularen Maßstabes 1 : 1000 Millionen gegeben werden, „Aufbau eines Gases", und eine weitere Verwendungsmöglichkeit des überstellaren Maßstabes erörtert werden. Wir nehmen für den Wasserstoff in normalem Zustand die folgenden Angaben als zurecht bestehend an: Ein Kubikzentimeter faßt 27 Trillionen Moleküle. Also sind, gleichmäßige Verteilung vorausgesetzt, 3 Millionen Moleküle in einer ein Zentimeter langen „Perlenschnur aufgefädelt". Der Durchmesser eines kugelförmig vorgestellten Moleküls betrage 0,000 000 025 Zentimeter. Im molekularen Maßstab wird ein Kubikzentimeter an Inhalt fast so groß wie die Erdkugel. Aus einem Zentimeter der Wirklichkeit werden 1000 Millionen Zentimeter in unserem Maßstab, das sind 10 000 Kilometer. Auf diese „Perlenschnur im Modell" fallen also 3 Millionen Moleküle, auf 10 Meter im Modell also 3 Moleküle. Ihr Durchmesser wird im Modell 25 Zentimeter groß. Um also den Gasbau des Wasserstoffs zu veranschaulichen, müßten derartige Globen im Hörsaal alle $3^1/_3$ Meter von links nach rechts, von hinten nach vorne, von unten nach oben aufgestellt sein. Eine launige Zeichnung eines derart ausgestatteten Hörsaals leistet naturgemäß dieselben Dienste wie die mühsame wirkliche Herstellung solcher Modelle. —



Längentafel (L-Tafel).

Aus des Verfassers „Dimensionstafel", Verlag F. Dümmler, Berlin und Bonn a. Rh.

LÄNGENTAFEL IN NEBEN-

(Vor den Beispiel-

Vorstellungs-Skala		Untermolekularer Maßstab 1000 Billionen: 1		Molekularer Maßstab 1000 Millionen : 1	
9	10 000 km = Erdquadrant	− 6	Seifenblasendicke	0	Fingerdicke
8	1000 km = Wien-Paris	− 7	(1 Millimikron)	− 1	Drahtdicke
7	100 km = Landschaft	− 8	Molekülradius	− 2	Haarbreite
6	10 km = Stadt	− 9		− 3	kleinstes Objekt für freies Auge
5	1 km = Straße	−10		− 4	(1 Mikron)
4	100 m = Turm	−11		− 5	kleinstes Objekt für d. Mikroskop
3	10 m = Hörsaal	−12		− 6	Seifenblasendicke
2	1 m = Tisch	−13	Elektron	− 7	
1	1 dm = Hand	−14		− 8	Molekülradius
0	1 cm = Fingerdicke	−15		− 9	
− 1	1 mm = Drahtdicke	−16	Proton	−10	
− 2	1/10 mm = Haarbreite	−17		−11	

(Dm = Durchmesser,

Im überstellaren Maßstab können die in einer Diskussion über die Endlichkeit der Welt vorkommenden Größen folgendermaßen miteinander verglichen werden. Ist das galaktische System 1 Dezimeter groß, etwa wie eine Hand, so liegt der Andromedanebel noch mitten im Hörsaal, die weitesten Nebel sind eineinhalb Kilometer weit, nach 10 Kilometern hört die Charliersche Welt, die de Sittersche nach

EINANDERSCHALTUNG

spalten die P-Zahlen)

Planetarer Maßstab 1 : 1000 Millionen		Stellarer Maßstab 1 : 1000 Billionen		Überstellarer Maßstab 1 : 1000 Trillionen	
18	(1 Lichtmeile)	24	Andromeda-nebel E	30	
17		23	Galaktisches System Dm	29	
16	Kometenaphele	22	Lokales System Dm	28	de Sitters Universum
15	Neptunbahn Dm	21	Sterne 10. Größe E	27	Charliersche Welt Dm
14	Planetoiden-ring Dm	20	Bärensterne E	26	Fernste Nebel E
13	Sterngigant Dm	19	Sirius E	25	Nebelhaufen E
12	Großer Stern Dm	18	(1 Lichtmeile)	24	Andromeda-nebel E
11	Sonne Dm	17		23	Galaktisches System Dm
10	Mond E	16	Kometenaphele	22	Lokales System Dm
9	Erdquadrant	15	Neptunbahn Dm	21	Sterne 10. Größe E
8	Wien–Paris	14	Planetoiden-ring Dm	20	Bärensterne E
7	Landschaft	13	Sterngigant Dm	19	Sirius E

E = Entfernung)

100 Kilometern auf, während der seinerzeit errechnete Einsteinsche „Krümmungsradius der Welt" etwa eine Eisenbahntagfahrt, nämlich 850 Kilomter lang sein sollte.

(6) Massentafel (M-Tafel). Sie ist hier nur in Nebeneinanderschaltung abgebildet, kann aber auch in Übereinanderschaltung und mit „Ästen" versehen dargestellt werden wie die Längen- und die

MASSENTAFEL IN NEBEN-

(Vor den Beispiel-

Vorstellungs-Skala		Quadrillionen-Maßstab 1 Quadrillion : 1		Billionen-Maßstab 1 Billion : 1	
12	1 Million t = Häuserblock	−12	Kleinstes Staubkorn	0	Zigarette
11	100 000 t = Größtes Turmhaus	−13	Großer Influenza-bazillus	− 1	Zündholz
10	10 000 t = Dampfer	−14		− 2	Zündholzkopf
9	1 000 t = Eisenbahnzug	−15	Kleiner Influenza-bazillus	− 3	Haar
8	100 t = Lokomotive	−16		− 4	
7	10 t = Waggon	−17		− 5	Großes Staubkorn
6	1 t = Lastauto	−18		− 6	i-Punkt
5	100 kg = Schwerer Mensch	−19		− 7	Kleinste spektroskopisch nachweisbare Menge Lithium
4	10 kg = Hand-koffer	−20	Schwerstes Molekül	− 8	Kleinste mikrochemisch nachweisbare Menge Wismut
3	1 kg = dickes Buch	−21	Ölsäure-Molekül	− 9	Großer Bazillus Bütschlii
2	10 dkg = Broschüre	−22	Uran-Molekül	−10	
1	1 dkg = Bleistift	−23	Stickstoffatom	−11	
0	1 g = Zigarette	−24	Proton	−12	Kleinstes Staubkorn
− 1	1/10 g = Zündholz	−25		−13	Großer Influenza-bazillus
− 2	1/100 g = Zündholz-kopf	−26		−14	
− 3	1 mg = Haar	−27	Elektron	−15	Kleiner Influenza-bazillus
− 4	1/10 mg	−28		−16	
− 5	1/100 mg = Großes Staubkorn	−29		−17	

EINANDERSCHALTUNG

spalten die P-Zahlen)

Billiontel-Maßstab 1 : 1 Billion		Quadrilliontel-Maßstab 1 : 1 Quadrillion		Sextilliontel-Maßstab 1 : 1 Sextillion		Oktilliontel-Maßstab 1 : 1 Oktillion	
24	Wasser der Erde	36		48		60	
23		35	Sterngigant	47		59	
22	Lufthülle der Erde	34		46		58	
21		33	Sonne	45	Galaktisches System	57	
20		32		44		56	
19		31		43		55	
18		30	Jupiter	42	Spiralnebel	54	
17		29		41		53	de Sitters Universum
16		28	Erde	40		52	Charliersche Welt
15		27		39		51	
14	Alle Menschen der Erde	26	Mond	38		50	Welt des 200-Zöllers
13		25		37		49	Welt des 100-Zöllers
12	Häuserblock	24	Alles Wasser der Erde	36		48	
11	Größtes Turmhaus	23		35	Sterngigant	47	
10	Dampfer	22	Lufthülle der Erde	34		46	
9	Eisenbahnzug	21		33	Sonne	45	Galaktisches System
8	Lokomotive	20		32		44	
7	Waggon	19		31		43	

ZEITENTAFEL IN NEBEN-

(Vor den Beispiel-

Vorstellungs-Skala		3. Schwingungs-Maßstab 1000 Trillionen : 1		2. Schwingungs-Maßstab 1000 Billionen : 1	
9	1000 Millionen Sek. = Menschenalter	−12	Halbwertzeit Thorium C_2	− 6	Radiowellen
8	100 Millionen Sek. = 3 Jahre	−13		− 7	
7	10 Millionen Sek. = 4 Monate	−14		− 8	
6	1 Million Sek. = 2 Wochen	−15	Licht	− 9	Lichtzeit „Buch-Auge“
5	100 000 Sekunden = 1 Tag	−16	Elektronenumlauf	−10	Hertzsche Wellen
4	10 000 Sekunden = 3 Stunden	−17	Röntgenstrahlen	−11	
3	1 000 Sekunden = 1/4 Stunde	−18		−12	Halbwertzeit Thorium C_2
2	100 Sekunden = 2 Minuten	−19	Weiche Gamma-Strahlen	−13	
1	10 Sekunden	−20	Radium B.-Gamma-Strahlen	−14	
0	1 Sekunde	−21	Kürzeste Gammastrahlen	−15	Licht
− 1	1/10 Sekunde	−22		−16	Elektronenumlauf
− 2	1/100 Sekunde	−23	Kosmische Strahlen	−17	Röntgenstrahlen

Zeitentafel. Trotz der Erweiterung der Vorstellungsskala von 12 auf 18 Zeilen sind nur sechs Verhältnismaßstäbe nötig, um die ganze Welt aller Massen einzuschließen. Wir nennen sie, wenn sie physikalische Objekte vergrößern, den Quadrillionen- und den Billionen-Maßstab. Für die Veranschaulichung der Massenverhältnisse astronomischer Objekte dienen der Billiontel-, Quadrilliontel-, Sextilliontel- und Oktilliontel-Maßstab. Alle sechs können mancherlei Veranschau-

EINANDERSCHALTUNG

spalten die P-Zahlen)

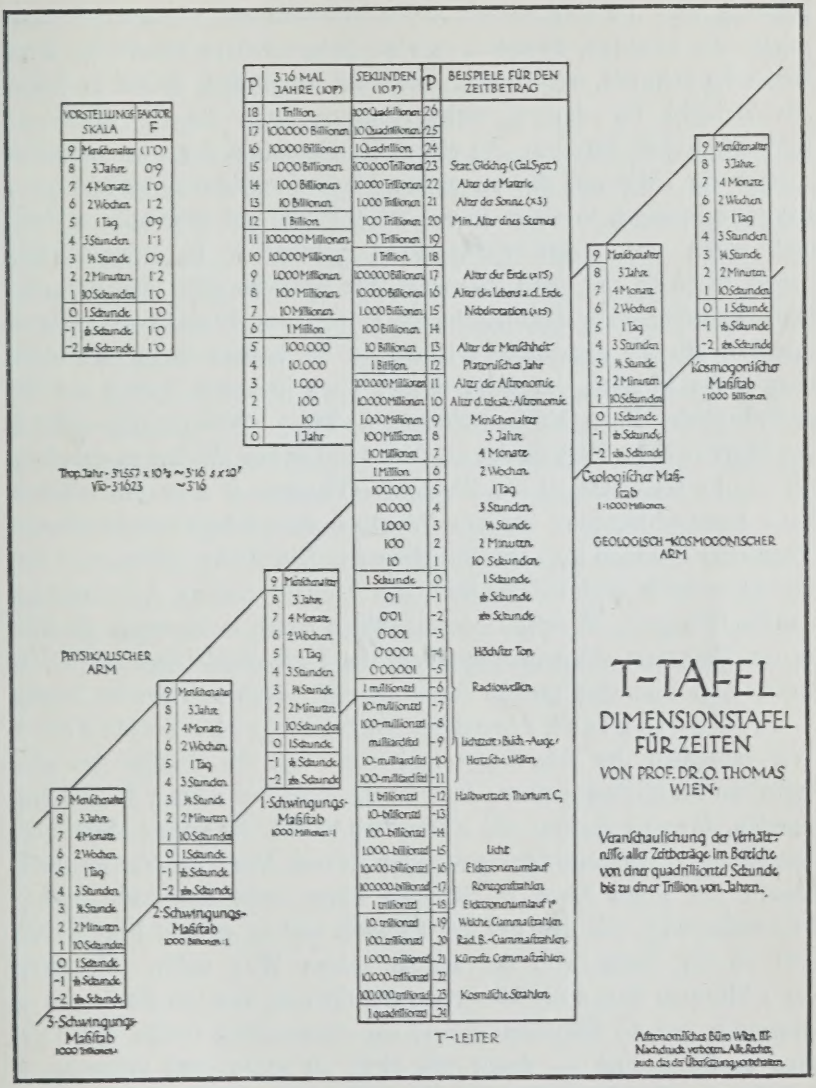
1. Schwingungs-Maßstab 1000 Millionen : 1		Geologischer Maßstab 1 : 1000 Millionen		Kosmogonischer Maßstab 1 : 1000 Billionen	
0	1 Sekunde Pulsschlag	18		24	
— 1	1/10 Sek. kurze Silbe	17	Alter der Erde	23	
— 2	1/100 Sek. Momentaufnahme	16	Alter des Lebens auf der Erde	22	Alter der Materie
— 3		15	Nebelrotation	21	Alter der Sonne (×3)
— 4	Höchster Ton	14		20	Mindestalter eines Sternes
— 5		13	Alter der Menschheit	19	
— 6	Radiowellen	12	Platonisches Jahr	18	
— 7		11	Alter der Astronomie	17	Alter der Erde
— 8		10	Alter der teleskopischen Astronomie	16	Alter des Lebens auf der Erde
— 9	Lichtzeit „Buch-Auge“	9	Menschenalter	15	Nebelrotation
—10	Hertzsche Wellen	8	3 Jahre	14	
—11		7	4 Monate	13	Alter der Menschheit

lichungen liefern. — Es sollen drei Beispiele angeführt werden. — Ist — Oktilliontel-Maßstab! — die Welt des Hundertzöllers 1 Dekagramm schwer, dann ist das de Sittersche Universum so schwer wie ein Mensch, der Andromedanebel wieder so leicht wie ein Haar. Ist der Mond — Quadrilliontel-Maßstab — so schwer wie eine Broschüre, dann kann die Erde wie ein Handkoffer zum Auto Jupiter getragen werden. Die Sonne ist so schwer wie unser Eisenbahnzug und ein

Sterngigant so schwer wie das größte Turmhaus in New York. — Wird endlich nach dem Quadrillionen-Maßstab ein Elektron so „kolossal" schwer wie eine Augenwimper, dann ist ein ganzes Stickstoffatom 10 Gramm schwer und das schwerste Molekül kann noch im Handkoffer geschleppt werden. Ein winziger Bazillus hat in diesem Fall die Masse eines ganzen Eisenbahnzuges.

(7) Zeitentafel (T-Tafel). Sie zeigt die Verhältnisse aller Zeitbeträge im Bereiche von einer quadrilliontel Sekunde bis zu einer Trillion von Jahren. Einrichtung und Gebrauch der Tafel, Bau der Dimensionsleiter und Anordnung der die Vorstellungsskala enthaltenden Rahmen sind ähnlich denen der Längentafel. Die T-Tafel ist vollständig (Seite 567) und in Nebeneinanderschaltung wiedergegeben. Der Vorstellungsskala ist eine besondere Tabelle (Seite 567 links oben) gewidmet. Nach dieser Tabelle sollen die in der Vorstellungsskala angegebenen Zeitbenennungen nicht diese selbst, sondern mathematisch genau die unmittelbar neben ihnen in derselben Zeile stehenden Werte des Zehnersystems, 0,01, 0,1, 1, 10, 100, 1000 usw. Sekunden, bedeuten. Der Name „3 Jahre" z. B. soll genau 100 Millionen Sekunden, ein „Menschenalter" hier genau eine Milliarde Sekunden lang sein. Die unter „Faktor" hingeschriebenen Zahlen sagen, mit wieviel wir die in Zehnerwerten angeführten wirklichen Zeitabschnitte multiplizieren müssen, wenn diese mit den neben ihnen stehenden Benennungen übereinstimmen sollen. — Um mit Jahren ebenso in die Tafel eingehen zu können wie mit Sekunden, müssen deren Zeitstrecken mit 3, genauer mit 3,16 multipliziert werden. Wir lesen so Zeile 17 von oben: „Rund 300 Jahre oder 10 Milliarden Sekunden alt ist die teleskopische Astronomie". — Da der Jahresfaktor 3,16 (ganz oben in der Tafel) mit sich selbst multipliziert zufällig 10 ergibt, könnte die Zeitentafel statt nach der multiplikativen Zählung 10, 10×10, $10 \times 10 \times 10$ usw. auch nach der Zählung 3,16, $3{,}16 \times 3{,}16$, $3{,}16 \times 3{,}16 \times 3{,}16$ usw. eingerichtet sein, dann könnten im oberen Teil die Jahre und Sekunden ineinandergeschachtelt werden. Die Tafel wäre einheitlicher, freilich hätte sie doppelt so viele Zeilen.

(8) Schwingungen. Die Radiowellen haben verschiedene Frequenz und somit verschiedene Schwingungsdauern. Vergrößern wir nach dem 1. Schwingungsmaßstab alle diese Perioden 1000 millionenmal, so gibt es unter den so vergrößerten solche, die in einer



Zeitentafel (T-Tafel)

Sekunde eine Periode ausführen — das sind die raschen — dann solche, die Minuten, Stunden, ja viele Stunden dazu brauchen. Eine wirkliche Sekunde, mit derselben Zeitlupe vergrößert, dauert 31 Jahre. Als Beispiel für den 2. Schwingungsmaßstab führen wir einen Eddingtonschen Satz an: „In einem Kalziumatom der Chromosphäre springt ein Elektron, das zu einem Umlauf 0,000 000 000 000 000 1 Sekunde braucht, in einer 40 ooostel Sekunde auf eine höhere Bahn und bleibt auf dieser 0,000 000 01 Sekunde." In der Zeitlupe „1000 Billionen : 1" sieht dies amüsante Spiel so aus: Das Elektron läuft während einer Zehntelsekunde einmal um, braucht dabei Jahrhunderte für die gemächliche Reise auf die höhere Bahn und bleibt dort einige Monate, um dann wieder etwa in enger Spirale auf die ursprüngliche Bahn hinabzuschleichen. Im 3. Schwingungsmaßstab erweitert sich die Periode der raschen Hertzschen Wellen zu Jahrhunderten, die Halbwertzeit des Elementes Thorium C 2 zu Jahrzehnten. Eine Lichtschwingung braucht Wochen, eine Röntgenwelle wenige Tage oder Stunden bis herab zu Minuten. Ein Elektronenumlauf entspricht zeitlich einem Tag, also dem Umlauf meines Arbeitstisches um die Erdachse. Weiche Gammastrahlen lassen in Minuten, die kürzesten Gammastrahlen in Sekunden, die Heß'schen Ultrastrahlen in hundertstel Sekunden gleiche Schwingungsphasen aufeinander folgen.

(9) Geologische und kosmogonische Zeiträume. Wir schreiben das Jahr 1933 und wenn wir im Tempo des geologischen Maßstabes denken, dann ist die Erde vor 2 bis 3 Jahren entstanden, dann ist sie erst seit 4 Monaten belebt, das ganze Menschengeschlecht dürfte kaum über 3 Stunden alt sein. Vor einer Viertelstunde begann der Stern Alpha im Kleinen Bären seine Kreisbahn, seinen Präzessionsweg, um den Pol der Ekliptik und ist gerade jetzt wieder dort an der Stelle, von der aus er seinen Weg nahm. Aber erst vor 2 Minuten fingen die Menschen ernstlich an, sich um die Sterne zu kümmern, vor 10 Sekunden erfand ein zeitgeraffter Galilei das Teleskop und Sie sind — damit ich nicht zu gratulieren vergesse — 1 Sekunde, Ihr Herr Papa schon 2 Sekunden alt. — Es sei der 18. Mai mittags 12 Uhr und wir bedienen uns des kosmogonischen Maßstabes: Im Januar entstand irgendwie die Materie. Vor einigen Tagen formte sich die Sonne, vor 1 bis 2 Minuten erschien die Erde, 10 Sekunden vor Mittag fing sie an, sich zu beleben und $^1/_{100}$ Sekunde vor „Jetzt" erscheinen Adam und Eva. Im selben Maßstab erscheint

die Jeanssche Angabe, daß sich Sternkollisionen im enormen Zeitintervall von Trillionen Jahren ereignen (oberste Zeile der T-Tafel), auf den Betrag von Dutzenden von Generationen beschränkt.

(10) Sinn unserer Normierungsvorschläge — und Schluß. Normierungen verfolgen in der Technik einen praktischen Zweck. Es ist schon ausgerechnet worden, wie viel Prozente des ganzen irdischen Vermögens, falls dieser verborgene Begriff überhaupt definierbar ist, erspart werden könnten, wenn alle auf dem Wege einer Organisation erfaßbaren normierungsfähigen Gegenstände, wie z. B. Papiere und Drucksachen oder alle Metallschrauben der Welt nach bestimmten Gesichtspunkten normiert wären. Da jedoch in diesen konkreten Angelegenheiten eine restlose Einigung kaum denkbar ist, sind alle Bestrebungen, Normierungen auf technischem Gebiet durchzuführen, doch nur mehr oder weniger ideelle Angelegenheiten. Dies gilt in erhöhtem Maße von unseren Bestrebungen zur Vereinheitlichung von Methoden. So ist die von uns öffentlich seit 1926, zum Teil seit 1915 vorgeschlagene Normierung der Verhältnismaßstäbe im Sinne unserer „Weltentafeln" im Grunde eine fast nur willensmäßig zu erschauende Forderung nach klarer und vorurteilsloser Ordnung in allem Suchen und Beschreiben einer Architektur der Welt.

TAFEL

(Sie enthält auch Zeichen, die in unserem

☿ = Merkur	♈ = Widder = Frühlingspunkt
♀ = Venus	♉ = Stier
⊕ = Erde	♊ = Zwillinge
♂ = Mars	♋ = Krebs = Sommerpunkt
♃ = Jupiter	♌ = Löwe
♄ = Saturn	♍ = Jungfrau
♅ = Uranus	♎ = Waage = Herbstpunkt
♆ = Neptun	♏ = Skorpion
♇ = Pluto	♐ = Schütze
	♑ = Steinbock = Winterpunkt
☉ = Sonne	♒ = Wassermann
☾ = Mond	♓ = Fische

„Widder" usw. bedeutet hier: Beginn des Widderzeichens usw.

♃ ☌ ♄ } Jupiter in Konjunktion mit Saturn
(♃ ♄) }

☍ ☉ } Mars in Opposition zur Sonne
☌ ☉ }

♆ □ ☉ = Neptun in Quadratur zur Sonne

☊ = aufsteigender Knoten

☋ = absteigender Knoten

◘ = Standort oder Auge

◉ = Stern 1. Größe

⊙ = „ 2. „

● = „ 3. „

• = schwacher Stern

DER SYMBOLE

Buch nicht angewandt wurden.)

⟨Januar⟩, ⟨Februar⟩ usw. = Tag des betreffenden Monats, an dem die Sonne in ein neues Tierkreiszeichen tritt

⟨Frühling⟩	= Frühlingsbeginn	= ⟨März⟩
⟨Sommer⟩	= Sommerbeginn	= ⟨Juni⟩
⟨Herbst⟩	= Herbstbeginn	= ⟨September⟩
⟨Winter⟩	= Winterbeginn	= ⟨Dezember⟩

⟨Morgen⟩ = 6 Uhr morgens

⟨Abend⟩ = 6 Uhr abends

$23^0\ 26'\ 53''$ = 23 Grad 26 Bogenminuten 53 Bogensekunden

$365^d\ 05^h\ 48^m\ 46^s$ = 365 Tage 05 Stunden 48 Minuten 46 Sekunden

(6.41 - 17) = Rektaszension $6^h\ 41^m$ und Deklination 17^0 südlich

$*24^h$ = Sternzeit 24^h

$2^a\ 49^d$ = 2 Jahre 49 Tage

---

1 Lm = 1 Lichtmeile = 1 metrisches Lichtjahr = 10 Billionen Kilometer

1 µ = 1 Mikron = 1 tausendstel Millimeter

1 µµ = 1 Millimikron = 1 milliontel Millimeter

1 Å = 1 Ångström = 1 zehnmilliontel Millimeter

Griechische Buchstaben Seite 80

1 Million hat 6, 1 Billion 12, 1 Trillion 18, 1 Quadrillion 24, 1 Quintillion 30 Nullen usw.

VERZEICHNIS DER BILDTAFELN

I. Großer Orionnebel (Yerkessternwarte). Am oberen Bildrand: Nebel NGC 1977 beim Stern c im Orion 3
II. Sonnenball (Yerkessternwarte). Aufnahme vom 7. August 1917. Einzelflecken und Fleckengruppe 48
III. Spektroheliographische Sonnenaufnahme (Mount Wilsonsternwarte). Aufnahme im Licht der Alphalinie des Wasserstoffs. 12. August 1917. Helle Flächen in der Fleckenzone. Dunkle Linienzüge höchstwahrscheinlich Protuberanzen 49
IV. Zweipolige Sonnenfleckengruppe (Mount Wilsonsternwarte). Spektroheliographische Aufnahme im Licht der Alphalinie des Wasserstoffs. 30. August 1924 96
V. Großer Sonnenfleck (Yerkessternwarte). Aufnahme vom 30. Juni 1928 97
VI. Protuberanz (Yerkessternwarte). Spektroheliographische Aufnahme von E. Pettit. 6. August 1931. Höhe der Protuberanz = 440 000 Kilometer 112
VII. Oben: Sonnenfinsternis, 29. Juni 1927. Chromosphäre (Hamburger Sternwarte). Aufnahme von R. Schorr. Sonnenfinsternisexpedition nach Jokkmokk in Lappland. Unten: Sonnenfinsternis, 31. August 1932. Korona (Harvardsternwarte). Aufnahme von L. B. Andrews. Sonnenfinsternisexpedition nach Gray, Maine, Neuengland 113
VIII. Mondkarte (Prag). Übersichtskarte der Mondoberfläche. Von K. Anděl. Deckblatt Seite 334 160
IX. Alpen- und Kaukasusgegend des Mondes (Pariser Mondaltas). Aufnahme von M. Loewy und P. Puiseux. 14. März 1894. Deckblatt Seite 335 161
X. Oben: Mars. Blau- und Gelbaufnahme (Lowellsternwarte). Filteraufnahmen von E. C. Slipher. 26. Oktober 1926 In der ersten Reihe (Blaufilter): große weiße Flächen links in der Gegend des Sonnenaufganges und am Nordpol. In der zweiten Reihe (Gelbfilter; genauer Kreis bedeutet nur Bildgrenze): große dunkle Flecken. Unten: Jupiter, Ultrarot- und Violettaufnahme (Licksternwarte). Filteraufnahmen vom 1. Oktober 1927. Dunkler Fleck: Schattenwurf eines Mondes 176
XI. Zwölf Saturnaufnahmen (Mount Wilsonsternwarte). Aufnahmen mit dem 60-Zöller. 17. November 1911 177

XII. Oben: Saturnphotographie (Mount Wilsonsternwarte). Aufnahme mit dem 60-Zöller. E. E. Barnard Unten: Saturnzeichnung (Staatssternwarte Wien). Am 27-Zöller gezeichnet von J. Rheden, 21. Juli 1899 256
XIII. Komet Daniel 1907 (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl). Aufnahme von M. Wolf 257
XIV. Oben: Feuerkugel vom 12. September 1923 (Prag), Teil einer 89 Kilometer langen Meteorbahn. Geschwindigkeit 59 Kilometer je Sekunde. Hintergrundsterne vier Stunden lang exponiert. Aufnahme von J. Klepešta. Unten: Widmannsstättensche Figuren auf der Schnittfläche eines Eisenmeteoriten (Meteoritensammlung Wien) Nach geeigneter Ätzung der Schnittfläche zeigt sich das Kristallgefüge. Meteorit von Knoxville. Linear viermal vergrößert 272
XV. Oben: Meteorkrater in Arizona Durchmesser 1300 m. Tiefe 190 m. (Carnegiestiftung Washington). Fliegeraufnahme, Armeeflugcorps. Unten: Zodiakallicht (Lowellsternwarte). Aufnahme vom 6. Februar 1907 273
XVI. Palisa-Wolf-Karte (Staatssternwarte Wien). Blatt 154 des photographischen Kartenwerkes. Aufnahme von M. Wolf, Heidelberg. Bearbeitet von J. Palisa, Wien, und J. Rheden, Wien 320
XVII. Oben: Spektren mit übereinstimmenden Linien. Zeißwerk, Jena. Ein Beispiel einer qualitativen Spektralanalyse. Untersuchung einer Blei-Zinn-Legierung. Die weder mit den Blei- noch mit den Zinnlinien übereinstimmenden Linien der Probe gehören dem Antimon und Wismut an. Unten: Mizarspektren mit einfachen und mit doppelten Linien (Yerkessternwarte). Die beiden Komponenten des Doppelsterns Mizar kreisen in einer Periode von 20½ Tagen umeinander. Seine Spektrallinien erscheinen in derselben Periode zweimal einfach und zweimal doppelt. Die dunkeln Spektren sind Vergleichspektren 321
XVIII. Typische Sternspektren (Licksternwarte). Die einzelnen Spektren zeigen in dieser Zusammenstellung deutlich den allmählichen Übergang von einem zum andern Typ. Die sechzehn Wiedergaben zeigen nur den violetten und ultravioletten Teil. Einheit der obenstehenden Zahlen = 0,000 000 1 Millimeter (Wellenlänge) 336
XIX. Kugelförmiger Sternhaufen im Herkules (Mount Wilsonsternwarte). M 13. Elfstündige Aufnahme mit dem 60-Zöller. 6. bis 8. Juni 1910 337
XX. Amerikanebel (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl). Aufnahme von M. Wolf. Die Nebelumrisse erinnern an die Konturen Nordamerikas. In Bildtafel XXIV links oben derselbe Nebel 384
XXI. Schleiernebel im Schwan (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl). Aufnahme von M. Wolf 385
XXII. Ringnebel in der Leier (Mount Wilsonsternwarte). Aufnahme

mit dem Hundertzöller. 5. August 1921. Die primäre Lichtquelle des Nebels ist dessen Zentralstern 400
XXIII. Sternwolke im Schwan (Sternwarte Heidelberg-Königstuhl) Aufnahme von M. Wolf. Milchstraßengegend vom Schwan bis zur Kassiopeia. Nord links 401
XXIV. Milchstraße im Schwan (Yerkessternwarte). Aufnahme von F. E. Ross 13. Oktober 1930. Links oben: Amerikanebel. Hellster Stern daneben: Deneb im Schwan 448
XXV. Dunkelnebel (Mount Wilsonsternwarte). S-förmiger Dunkelnebel im Schlangenträger. Aufnahme mit dem Hundertzöller. 4. Juli 1921. Nord links 449
XXVI. Großer Andromedanebel (Yerkessternwarte). Typischer vollständig entwickelter Spiralnebel. Entfernung etwa 850 000 Lichtmeilen. Durchmesser 40 000 Lichtmeilen 464
XXVII. Spiralnebel im Großen Bären (Mount Wilsonsternwarte). M 101 7½stündige Aufnahme mit dem 60-Zöller. 10. und 11 März 1910 . . 465
XXVIII. Entwicklungszustände der Spiralnebel. Erste Reihe: NGC 3379 und 221. Zweite Reihe: NGC 4621 und 3115. Unten: NGC 4594. Aus der Sammlung J. H. Jeans, London . . . 512
XXIX. Spiralnebel NGC 891. Aus der Sammlung J. H. Jeans, London. Der Nebel wird „von der Kante" gesehen. Seine Rotationsachse steht senkrecht zur Blickrichtung 513
XXX. Oben: Modell der Störungsfunktion. Von K. Wanka, Wien. Beschreibung Seite 390 Unten: Modell zum Thema: Relativität der Drehung. Beschreibung Seite 165 528
XXXI. Planetenbahnen im planetaren Maßstab 1 : 1 Milliarde. 1 Kilometer im Stadtgebiet = 1 Milliarde Kilometer im Planetensystem. Beschreibung Seite 253 529

Die Störungstafel (Seite 395) und die Zeitentafel (Seite 567) wurden von H. Larisch-Ramsauer geschrieben.

SCHLAGWORTREGISTER

Abendstern 104
Abendweite 28
Aberration des Lichts 184
Abplattung der Erde 228
Absolut 16
Absolute Größe 437
Absolute Himmelskugel 436
Absoluter Nullpunkt 290
Absolute Temperatur 290
Absorptionslinien 297
Abstandstreue 79
Abweichung 52
Additives Zählen 418
Adler 89
Akzeleration, säkulare 325
Albedo 269
Allgemeine Geometrie 536
Allgemeine Relativität 541
Allgemeines Störungsproblem 389
Almukantarat 27
Alphabet, griechisches 80
Alter der Welt 548
Anagalaktische Nebel 521
Andromedanebel 522
Ångströmeinheiten 297
Annihilation der Materie 536
Anomalie, exzentrische 191
Anomalie, mittlere 196
Anomalie, wahre 191
Anomalistischer Monat 120
Anomalistisches Jahr 72
Anregungszustände 294
Anzahl der Sterne 424
Apex, Erdbewegung 369
Apex, Sonnenbewegung 451
Aphel 192
Apogäum 311
Apsiden 192
Apsidenlinie des Mondes 311
Apsidenumlauf 314
Äqualkugel 215
Äquator 52
Äquatorbilder 83
Äquatorgeschwindigkeit 228
Äquatoriale Karte 75
Äquatorialhorizontalparallaxe 183
Äquatorialuhren 40
Äquatorkulm 23
Äquatorwulst 219
Äquidistanz 79
Äquivalenz 79
Arcusmaß 25
Arcustafel 125
Argument der Breite 355
Arizonakrater 377
Aschgraues Licht 112, 113
Asteroiden 263
Astronomische Einheit 152
Astronomische Refraktion 235
Astronomisches Dreieck 30
Asymmetrie der Bewegungen 460
Äther 184
Atmosphäre 232
Atombau 292
Aufsteigung, gerade 52
Azimut 28
Azimutsystem 28

Bahnelemente 256
Bahngesetze 259
Bahnneigung 255
Bahntafel 402, 404
Bahnumwandlung 359
Banden 296
Bärenfamilie 499
Bär, Großer 16
Barnardscher Stern 449
Bedeckungsveränderliche 471
Beschleunigung 206
Bewegung und Ruhe 22
Bielascher Komet 364
Bogenspektrum 296
Bogen- und Zeitmaß 23
Bogen-Zeit-Tafel 124

Boliden 366
Breite, Ekliptik 66
Breite, galaktische 54
Breite, geographische 155
Breite, geozentrische 202
Breitenüberschußtafel 242
BS-Katalog 123

Cassinische Teilung 280
Ceres 267
Cepheiden = Zepheiden 463
Charliersche Theorie 532
Chromosphäre 289

Dämmerung 234
Dämmerungstafel 245
Daniel-Komet 352
Datumgrenze 170
Deferent 252
Deichsellinie 43
Deklination 28
de Sittersches Universum 552
Differentielle Gleichzeitigkeit 542
Diffuse Nebel 508
Dimensionstafeln 556
Donatischer Komet 363
Doppelsterne 462
Dopplereffekt 297
Drachenkopf 117
Drachenscheibe 96
Drachenschwanz 117
Drakonitischer Monat 120
Dreikörperproblem 383
Dreiletterige Abkürzung 134
Dunkle Nebel 509
Durchdringende Strahlung 536
Durchmessertafel 406
Durchmessertafel, Mond 133
Durchmessertafel, Sonnenscheibe 127
Dyn 206

Ebbe und Flut 231
Eddingtonsches Massenintervall 484
Effektive Temperatur 300
Effektive Wellenlänge 429
Eigenbewegung 448
Einheit, astronomische 152
Einheitskreis 25
Einsteinsche Gravitationstheorie 539

Ekliptik 64
Ekliptikbreite 55
Ekliptikhauptlagen 69
Ekliptiklänge 55
Ekliptikpol 66
Ekliptikschiefe 65
Ekliptiksystem 54
Elektron 292
Ellipse 188
Ellipsoidische Verteilung 459
Elongation 107
Emissionslinien 297
Enckescher Komet 357
Entfernungsmessung 153
Entfernungsmodul 438
Epizykel 249
Epoche 255
Erdbahn 187
Erdellipsoidtafel 243
Erdferne des Mondes 311
Erdgestalt 200
Erde, Größe 148
Erdhalbmesser 148
Erdkörper 224
Erdkrümmung 155
Erdkugel 145
Erdmagnetismus 233
Erdmessung 162
Erdnähe des Mondes 311
Erdzahlen 203
Erg 206
Erntevollmond 117
Eros 267
Erster Vertikal 22
Evektion 121
Evektionskreis 316
Evektionspunkt 316
Exakte Perspektive 74
Expansion der Welt 550
Expansionseffekt 298
Extinktion 233
Exzentrische Anomalie 191
Exzentrizität, lineare 188
Exzentrizität, numerische 189
Exzentrizitätswinkel 190

Fallkreis 261
Farbenindex 422
Farbenskala 423
Farbtemperatur 493

Feuerkugeln 366
Finsternisse 339, 342
Finsternissterne 471
Fixstern 447
Fixsterne, Entfernung 183
Flächentreue 79
Fleckenperiode 304
Fliegende Schatten 351
Flut und Ebbe 231
Formzahl 189
Foucaultscher Pendelversuch 229
Fraunhofersche Linien 296
Freier Fall 207
Frühlingsäquinoktium 32
Frühlingsnachtgleiche 32
Frühlingspunkt 44
Frühlingspunkt als Zeitweiser 56
Fünfsternreihe 43
Funkenspektrum 296

Galaktische Breite 54
Galaktische Konzentration 426
Galaktische Länge 54
Galaktische Nebel 498
Galaktischer Nullpunkt 84, 85
Galaktisches System, großes 512
Galaktisches System (Koordinaten) 54
Galaktisches System, Rotation 516
Gaußsche Gravitationskonstante 210
Gegenpol 20
Gegenpolbilder 83
Gegenschein 107, 309
Geodätische Linie 155
Geographische Breite 155
Geographische Länge 156
Geoid 203
Geometrie, allgemeine 536
Geozentrische Breite 202
Gerade Aufsteigung 52
Geradeste Linien 44
Geschwindigkeitsellipsoide 459
Geschwindigkeitsfiguren 459
Geschwindigkeitskugel 458
Gestalt des Himmelsgewölbes 237
Geviertschein 107
Gewicht 209
Gezeiten 232
Gezeitenhypothese, Jeans 546
Giganten 479
Gleicher 23
Gleichschein 107
Gleichzeitigkeit, differentielle 542
Globularprojektion 77
Gnomonische Projektion 76
Gradmessung 201
Grammkalorie 286
Gradationstemperatur 493
Granatstern 469
Granulation 286
Gravitation 206
Gravitationseffekt 297, 542
Gravitationsgesetz, Newtons 211
Gravitationskonstante, Gaußsche 210
Gravitationsregeln 212
Gravitationstafel 244
Gravitationstheorie, Einsteinsche 539
Greenwicher Meridian 156
Größenklasse 19
Großes Dreieck 43
Großes Sechseck 43
Grüne Nebel 507

Halescher Zyklus 304
Halleyscher Komet 361
Harvardtypen 427
Haufenveränderliche 463
Häufigkeitsfunktion 446
Hauptdiagramm, stellares 479
Hauptserie 480
Heliakischer Aufgang 64
Heliozentrisches System 252
Helle Planeten 268
Helligkeit 19
Helligkeit, absolute 437
Helligkeit, scheinbare 19
Herbstäquinoktium 33
Herbstnachtgleiche 33
Herbstpunkt 64
Hidalgo 267
Himmelsachse 20
Himmelsäquator 23
Himmelsfläche 26
Himmelskugel 15
Himmelstafeln 123
Himmelswagen 18
Höhe 27

Höhenkreis 27
Horizont 17
Horizontaluhren 40
Horizontbilder 83
Horizont, mathematischer 161
Horizont, scheinbarer 162
Hyadenproblem 455
Hyadenstrom 456
Hyperbolische Bahn 197

Infrarote Strahlen 294
Interferenzerscheinungen 487
Interferometer 486

Jahr, anomalistisches 72
Jahr, siderisches 100
Jahr, tropisches 71, 100
Jahresparallaxe 182
Jahresschraube 34
Jahreszeiten 34, 222
Jährliche Drehung 58
Jährliche Gleichung 121, 319
Jeanssche Gezeitenhypothese 546
Joule 207
Julianische Tage 72
Jupiter 109, 276
Jupiterfamilie 359
Jupitermonde 278
Jupitermondtafel 410

Kalender 71
Kapella 475
Kapwolken 521
Kassiopeia 87
K-Effekt 454
Kegelschnitte 41
Kegelschnittlinien 198
Kelvintemperatur 290
Kennlinien 443
Keplersche Gesetze 194, 259
Kleinplaneten 263
Kleinplaneten, Statistik 265
Knoten, Mondbahn 117, 313
Knotendistanz des Perihels 255
Knotenlänge 255
Knotenrücklauf 119, 313
Kolure 53
Kolurlinie 43
Kolursphäre 94
Kolurstern 43
Kolurstern als Zeitweiser 56
Koma 360
Kometarische Schwärme 381
Kometen 352
Komet Daniel 352
Komet Encke 357
Komet Halley 361
Komet 1843 363
Komet 1858 363
Kometen, periodische 357
Kometenbau 360
Kometenelemente 355
Kometenfamilien 359
Kometenschweif 360
Kometen-Tabelle 358
Kometenursprung 354
Konformität 79
Königszonen 287
Konjunktion 106
Konvergenzpunkt 456
Koordinaten 27
Kopernikanisches System 252
Korona 289
Kosmische Strahlung 536, 564
Kosmogonie der Sterne 480
Kosmogonie des Alls 545
Kosmogonie des Sonnensystems 546
Krater 335
Kraterhypothesen 337
Kreisel 218
Kreis- und Kugeltafel 127
Krippe 459
Krümmung des Raumes 537
Kubisches Gesetz 444
Kugelförmige Sternhaufen 503
Kulminationspunkt 32

Länge, Ekliptik 66
Länge, galaktische 54
Länge, geographische 156
Längeneinheiten 430
Längentafel 558
Langperiodische 463
Längster Tag-Tafel 245
Längster wahrer Tag 39
Lebewesen und Weltall 547
Leere Welt 552
Leoniden 365
Leuchtkräfte, relative 420
Leverriersche Kurven 399

Libration in Breite 330
Libration in Länge 330
Libration, parallaktische 329
Librationspunkte 394
Lichtablenkung 543
Lichtgeschwindigkeit 185, 432
Lichtjahr 431
Lichtmeile 431
Lineare Exzentrizität 188
Linieneffekte 297
Lokales System 512
Löwe 104
Löwe, Doppeltrapez 46
L-Tafel 558
Lunation 112
Lunisolarpräzession 101

Magellansche Wolken 520
Magnetische Erdachse 233
Mare 326
Mars 109, 273
Marsmonde 275
Masse 209
Masse, Doppelsterne 473
Massenintervall, Eddingtonsches 484
Massen-Leuchtkraftgesetz 486
Massentafel 561
Massenverlust 535
Mehrfache Sterne 477
Mehrkörperproblem 384
Meridian 20, 156
Merkur 108, 268
Merkur, Perihelverschiebung 544
Messierliste 136
Meteorbahnermittlung 374
Meteore 366
Meteorgeschwindigkeit 376
Meteorite 367
Meteorkrater 377
Meteormeldungen 372
Meteorschwärme 378
Metonischer Zyklus 112
Milchstraße 84
Milchstraße, Rundschema 85
Milliardstel Maßstab 154
Mira 468
Mittagskreis 20
Mittagslinie 21
Mittelpunktsgleichung des Mondes 121, 311
Mitternachtssonne 164
Mittlere Anomalie 196
Mittlere Länge in der Bahn 256
Mittlere Sonne 36
Mittlere Zeit, Sternzeit 59
Mittlerer Sonnentag 38
Monat, anomalistischer 120
Monat, drakonitischer 120
Monat, siderischer 118
Monat, synodischer 112
Monat, tropischer 119
Mond 111, 310
Mondbahn 310
Monddurchmesser 151
Mond. Durchmessertafel 133
Mondentfernung 150
Mondfinsternis 339, 343
Mond, Größe 150
Mondknotenrücklauf 120
Mondkrater 335
Mondkugel 326
Mondlauf 111
Mondmeere 326, 334
Mond, mittlerer 121
Mondoberfläche 333
Mondphasen 112
Mondstörungen 121, 318
Mondtag 115
Mondtemperaturen 332
Mond, Umlaufszeiten 310
Mond, wahrer 121
Mondwechsel 113
Morgenstern 104
Morgenweite 28
Mösting Null 327
M-Tafel 561
Multiplikatives Zählen 418

Nachtbogen 32, 50
Nächste Sterne 443
Nachtgleiche 33
Nadir 17
Nebel, galaktische 498
Nebel, Spiralen 520
Nebel, weiße 520
Nebelflucht 532
Nebelformen 524
Nebelhaufen 528

Nebelstatistik 527
Nebel- und Sternhaufenliste 136
Neigung, Mondbahn 118
Neigung, Planetenbahn 255
Neptun 258
Neptunfamilie 360
Neue Sterne 463, 469
Neutraler Punkt 215
Neutronen 292
Newtons Gravitationsgesetz 211
NGC-Katalog 136
Nordkreis 29
Nordpunkt 21
Normalkomponente 319
Normierungsvorschläge 569
Novahypothesen 470
Nova Pictoris 469
Nullpunkt, absoluter 290
Numerische Exzentrizität 189
Numerische Integration 385
Nutation 100, 222
Nutationsperiode 100

Obere Planeten 263
Oberflächenweiße 269
Offene Haufen 500
Opposition 106
Orbitoskop 277
Ordnungen, stellare 520
Orion 88
Orionnebel 507
Orthogonale Projektion 73, 77
Ortszeit 169
Ostpunkt 21

Parabolische Bahn 197
Parallaktische Bewegung 450
Parallaktische Gleichung 121, 320
Parallaktische Libration 329
Parallaxe, jährliche 183
Parallaxe, säkulare 452
Parallaxe, tägliche 183
Parallelkreis 29, 155
Parallelkreis, irdischer 155
Parameter 188
Parsec 432
Pekuliare Bewegung 448
Pendelversuch, Foucaultscher 229
Perigäum 311
Perihel 192
Periheldistanz 255
Perihelduchgang 255
Perihellänge 256
Perihelverschiebung bei Merkur 544
Periode, Zepheiden 465
Periodische Kometen 357
Perlschnurphänomen 351
Perseiden 380
Perspektive, exakte 74
Pfeilstern 449
Phasenstellungen 115
Photographische Sterngrößen 421
Photosphäre 289
Photovisuelle Sterngrößen 421
Photometrische Doppelsterne 473
Physische Doppelsterne 472
Physische Planetentafel 408
Plancksches Strahlungsgesetz 301
Plancksches Wirkungsquantum 295
Planetare Präzession 102
Planetarische Nebel 508
Planetarium, Zeiß 81, 277
Planeten 103
Planeten, Einteilung 262
Planetendurchmesser 252
Planetenentfernungen 254
Planetensystem 249
Planetentafeln 401
Planetoidenring 265
Platonisches Jahr 94
Plejaden 501
Pluto 258
Pol 19
Polarbilder 83
Polarisation 307
Polarkreise 29, 161
Polarlichter 233
Polarstern, Begriff 98
Polaruhren 40
Poldistanz 29
Polhöhe 20, 162
Polhöhenmessung 145
Polhöhenschwankung 225
Poren 287
Präsepe 459
Präzession, allgemeine 102
Präzession, Erde 218
Präzession, lunisolare 101
Präzession, planetare 102
Präzession, Sterne 93

Präzessionskonstante 96
Präzessionsmodell 95
Präzessionstafel 132
Problem, restringiertes 392
Projektion, gnomonische 76
Projektion, orthogonale 77
Projektion, stereographische 76
Proton 292
Protuberanzen 290
Psychophysisches Grundgesetz 417
Ptolemäisches Dreieck 46
Ptolemäisches System 252

Quadratur 107
Quantenbahnen 293
Querlängentafel 126

Radialeffekt 297
Radialgeschwindigkeit 453
Radianten 374
Radiationspunkt 379
Radlinien 249
Raschbewegte Sterne 455, 518
Raumkrümmung 537
Raum = Zeit = Welt 538
Rechtläufig 52
Rechtsablenkung 230
Reduzierungsgesetz 355
Refraktion, astronomische 235
Rektaszension 54
Rektaszensionstafel, Sonne 128
Relativ 16
Relative Leuchtkräfte 420
Relativität, allgemeine 541
Relativität, Drehung 165
Relativitätstheorie 541
Relativzahlen 303
Repulsivkraft 361
Restringiertes Problem 392
Retrograd 52
Riesensterne 479
Rillen 326
Ringgebirge 335
Ringnebel 508
Rotation, Milchstraße 516
Rotationsellipsoid 202
Rotation, Sterne 495
Roter Fleck 278
Rotierender Himmel 22
Rotverschiebung 297, 542
Rückläufig 52
Ruhender Himmel 22
Ruhe und Bewegung 22
Russelldiagramm 478

Sagen 86
Sagittariuswolke 514
Säkulare Beschleunigung 325
Säkulare Parallaxe 452
Säkulare Störungen 324
Sarosperiode 120, 342
Saturn 109, 279
Saturnmonde 282
Saturnmondtafel 411
Saturnringlinien 397
Schaltregel 71
Schatten, fliegende 351
Scheinbare Größe 19
Schiefe der Ekliptik 65
Schlangenträger 91
Schmales Dreieck 26
Schmetterlingsphänomen 304
Schwan 47
Schwarzer Körper 300
Schwerefeld 543
Schwerkraft 208
Schwerpunkt Erde = Mond 151
Schwerpunkt Sonne = Erde 152
Sechseck, großes 43
Septemberkomet 1882 364
Septembermond 116
Shapleysches System 512
Sichtweitentafel 241
Siderischer Monat 118
Siderischer Umlauf, Mond 118
Siderischer Umlauf, Planeten 105
Siderisches Jahr 100
Siebzehneruhr 60
Siriometer 433
Sirius 473
Siriusbegleiter 474
Siriusweite 433
Skorpion 104
Solarkonstante 286
Solstialpunkte 66
Sommerliches Dreieck 46
Sommerpunkt 65
Sommersolstitium 66
Sommerzeit 173
Sonne 284

Sonne, Deklinationstafel 128
Sonne, mittlere 36
Sonne, Rektaszensionstafel 128
Sonne und Strahlung 284
Sonne, wahre 36
Sonnenball 151
Sonnendeklination 35
Sonnendichte 290
Sonnenfackeln 287
Sonnenfinsternis 339
Sonnenflecken 287, 302
Sonnenmagnetismus 305
Sonnenpole 288
Sonnenparallaxe 273
Sonnenpulsation 187
Sonnenrotation 287
Sonnenscheibe 31
Sonnenspektrum 298
Sonnen-Sternzeit-Tafel 131
Sonnentag, mittlerer 38
Sonnentag und Sterntag 180
Sonnentag, wahrer 38
Sonnentemperatur 290
Sonnentermine 33
Sonnentranslation 451
Sonnenuhren 39
Sonnenwende 35
Sonnenzahlen 284
Sonnenzeit, mittlere 38
Sonnenzeit, wahre 38
Sonnenzentrisches System 252
Spektralanalyse 295
Spektrale Einteilung 426
Spektrallinien 296
Spektroheliographische Methode 298
Spektroskopie 295
Spektroskopische Doppelsterne 473
Spektrum 295
Spezielle Bewegung 448
Spezielle Störungen 391
Spiralnebel 520
Stabilitätsproblem 398
Standardzeit 169
Stationär 105
Statische Welt 552
Stellare Ordnungen 520
Stellarer Maßstab 519
Stellares Hauptdiagramm 479
Sternanzahl 424
Sternbewegungen 447
Sternbilder 43, 80
Sternbildertafel 134
Sternbilderzonen 82
Sterndichte 425
Sterne erster Größe 85
Sterneichung 424
Sternenkugel 94
Sterngröße 19
Sterngrößen 419
Sternhaufen 498
Sternhaufen- und Nebelliste 136
Sternhelligkeit 19
Sternhöhe 27
Sternenkugel 94
Sternmassen 482
Sternphysik 478
Sternrotation 495
Sternsagen 86
Sternschnuppen 366
Sternschnuppenhäufigkeit 371
Stern-Sonnenzeit-Tafel 130
Sternströme 461
Sterntafel I 139
Sterntafel II 140
Sterntag 50
Sterntag und Sonnentag 180
Sterntemperaturen 494
Sternzeit 57, 59
Sternzeit im mittleren Mittag 60
Sternzüge 43
Störende Kraft 319
Störung, Begriff 317
Störungen 383
Störungen, säkulare 324
Störungen, spezielle 390
Störungsfunktion 390
Störungsproblem, allgemeines 389
Störungstafel 394
Strahlung 295
Strahlungsdruck 361
Strahlungsgesetz, Plancksches 301
Stundenkreis 29
Stundenwinkel 29
Stundenwinkelsystem 29
Südbilder 83
Südkreis 29
Südpol 20
Südpunkt 21
Swanbanden 361

Symbolische Darstellung 74
Synodischer Monat 112
Synodischer Umlauf, Mond 112
Synodischer Umlauf, Planeten 108
Syzygien 114
Szintillieren 233

Tagbogen 32
Tagbogentafel 241
Tage, Julianische 72
Tageskreise 31
Tägliche Parallaxe 183
Tangentialgeschwindigkeit 454
Tektite 377
Tellurische Linien 299
Temperaturdefinitionen 493
Temperatur und Masse 495
Tierkreisbilder 63, 83
Tierkreislicht 308
Tierkreiszeichen 66
Titius-Bodesches Gesetz 264
Totalgeschwindigkeit 454
Trägheitsgesetz 216
Translation der Sonne 451
Trigonometrie 153
Trojaner 267
Trojanerdreieck 389
Tropischer Monat 119
Tropischer Umlauf, Mond 118
Tropischer Umlauf, Planeten 106
Tropisches Jahr 71, 100
T-Tafel 566

Übergiganten 479
Überriesen 479
Uhrkreis 29
Ultrarote Strahlen 294
Ultraviolette Strahlen 294
Umkehrende Schicht 289
Unendlich 15
Ungleichheiten 120
Universalzeit 168
Universum de Sitters 552
Untere Planeten 263
Uranus 258
Uranusfamilie 360
Urmeter 203

Variation 121, 320
Vektoren 251
Venus 109, 270
Venusdurchgang 272
Veränderliche 462
Verhältnismaßstäbe 554
Verschiebungsgesetz 301
Vertex 450
Vertikal, erster 22
Vertikaluhren 40
Vielkörperproblem 384
Vierte Dimension 537
Visuelle Sterngrößen 421
Vorstellungsskalen 555

Wahre Anomalie 191
Wahre Länge in der Bahn 256
Wahre Sonne 36
Wahrer Sonnentag 38
Wandelsterne 103
Wärmeindex 422
Weiße Nebel 520
Weißer Fleck 280
Weiße Zwerge 480
Weltraumtemperatur 524
Weltsternzeit 166
Weltuntergang 549
Weltzeit 168
Wendekreise 29
Westpunkt 21
Widderpunkt 44
Widderzeichen 95
Widmannstättensche Figuren 377
Winkeltreue 79
Winterpunkt 65
Wintersolstitium 66
Wirkungsquantum, Plancksches 295
Wolf-Rayetsterne 509
Wolfsche Relativzahlen 304

Zeemaneffekt 297
Zeichen der Ekliptik 66
Zeißplanetarium 81, 277
Zeitbestimmung 57
Zeit-Bogen-Tafel 125
Zeitentafel 566
Zeitgleichung 36
Zeitgleichungsanalyse 68
Zeitgleichungstafel 129
Zeitmessung 230
Zeit- und Bogenmaß 23
Zenit 17

Zenitalbilder 83
Zenitdistanz 27
Zentralsystem 514
Zepheiden 463
Zepheidengesetz 464
Zepheidenproblem 464
Zeta im Krebs 477
Zirkumpolarsterne 50
Zodiakalbilder 63
Zodiakallicht 308
Zonenmeridiane 157
Zonenzeiten 169
Zweikörperproblem 216, 383
Zwergsterne 479
Zwillinge 103

Author Thomas, Oswald 315937 Astron T

Title Astronomie.

University of Toronto Library

DO NOT REMOVE THE CARD FROM THIS POCKET

Acme Library Card Pocket
LOWE-MARTIN CO. LIMITED